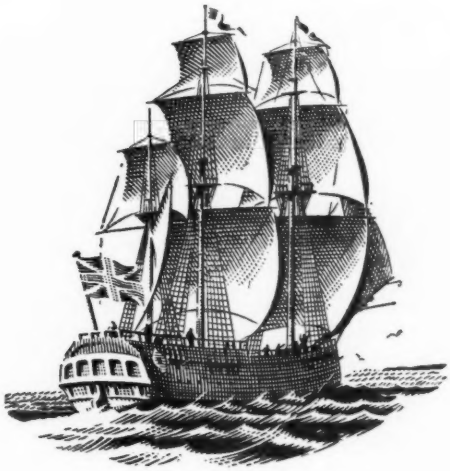
ENDEAVOUR

Revista trimestral designada a registrar el progreso de las ciencias al servicio de la humanidad



VOLUMEN VI · 1947

Endeavour

VOLUMEN VI · 1947

LISTA DE ARTICULOS por orden alfabético de autores

Autor	*Artículo*	*Página*
ANGUS-BUTTERWORTH, L. M.	La química en la coloración del vidrio	112
	L. M. ANGUS-BUTTERWORTH, Gerente de Newton Glass Works, Manchester, Miembro de la Sociedad de Tecnología del vidrio.	
BARROW, R. F.	La espectroscopía de las llamas	85
	R. F. BARROW, Profesor de Química en la Universidad de Oxford, especializado en problemas de química espectroscópica.	
COULSON, C. A.	El significado de la resonancia en la química de los quanta	42
	C. A. COULSON, Catedrático de Física teórica en la Universidad de Londres; interesado especialmente en la aplicación de métodos matemáticos a los problemas de química teórica.	
EDITORIALES	El centenario de la anestesia	1
	La función de las sociedades científicas	49
	Louis Pasteur	97
	La conservación de la energía	137
EVANS, DAVID S.	Algunos aparatos físicos empleados en la Medicina	69
	DAVID S. EVANS, antiguo miembro del Observatorio universitario de Oxford; encargado durante la guerra en la investigación de problemas físicos relacionados con la Medicina. Es en la actualidad Auxiliar segundo en el Observatorio de Radcliffe, Pretoria.	
FLEURE, H. J.	La Sociedad Literaria y Filosófica de Manchester	147
	H. J. FLEURE, Ex-catedrático de Geografía de la Universidad de Manchester (1930–44). Presidente en 1940 de la Sociedad Literaria y Filosófica de Manchester.	
FOGG, G. E.	La fijación nitrogénica por algas verdi-azules	172
	G. E. FOGG, Especialista en investigaciones sobre la fijación nitrogénica de las algas verdi-azules, y en el control de los parásitos vegetales por medio de métodos químicos. Profesor de Fisiología vegetal en la Universidad de Londres.	
GIBSON, C. S.	La Sociedad de Química (de Londres) tras cien años de existencia	63
	C. S. GIBSON, Catedrático de Química en la Universidad de Londres y en la Escuela de Medicina del *Guy's Hospital* desde 1921. Secretario de la *Chemical Society* de 1924 a 1933.	
HARDY, D. V. N.	Los compuestos orgánicos silíceos y su desarrollo industrial	29
	D. V. N. HARDY, Director científico del Laboratorio de investigación química de Teddington. Epecializado en el estudio de las reacciones catalíticas orgánicas bajo alta presión.	
HARTSHORNE, N. H.	Algunas aplicaciones de la cristalografía óptica	15
	N. H. HARTSHORNE, Profesor de Química de la Universidad de Swansea desde 1921. Interesado en la aplicación de los métodos de la cristalografía óptica en la química, y del estudio de la cinética de las transformaciones polimórficas.	
HOLMES, ARTHUR	Le edad de la tierra	99
	ARTHUR HOLMES, ocupa la Cátedra «Regius» de Geología y Mineralogía de la Universidad de Edimburgo. Especializado en problemas de petrología y petrogénesis, y en la aplicación de los métodos radioactivos en los estudios geológicos.	
LEAN, O. B.	Evolución de la lucha contra la langosta	165
	O. B. LEAN, Miembro del Departamento central de control agrícola de *Imperial Chemical Industries*. Director del Servicio de control de la langosta en El Cairo durante la pasada guerra. Ha investigado dicho problema en diversas partes del mundo.	

LISTA DE ARTICULOS (*continuación*)

Autor	*Artículo*	*Página*
LONSDALE, KATHLEEN	Los rayos X y el átomo de carbono	139
	KATHLEEN LONSDALE, Profesora auxiliar de Cristalografía en la Universidad de Londres. Especialista en la investigación de la estructura molecular por métodos radiográficos.	
MACGREGOR, MURRAY	James Hutton, fundador de la Geología moderna, 1726–97	109
	MURRAY MACGREGOR, Miembro del Departamento Topográfico Oficial desde 1909. Nombrado Vice-director del Catastro escocés desde 1921.	
MARTIN, A. J. P.	Los principios de la cromatografía	21
	A. J. P. MARTIN, pertenece al Departamento de investigación de *Boots Pure Drug Company Limited*, especializado en cromatografía; a él se deben algunos recientes avances en la cromatografía de partición.	
PEIERLS, R. E.	La energía atómica, amenaza y promesa	51
	R. E. PEIERLS, Catedrático de Matemáticas aplicadas en la Universidad de Birmingham; tuvo notable intervención en los proyectos de energía atómica preparados durante la guerra, siendo en la actualidad uno de los Consejeros del Departamento de Energía Atómica del Ministerio de Suministros.	
OSBORN, T. G. B.	El mejoramiento de las praderas y dehesas británicas	160
	T. G. B. OSBORN, Ocupa la Cátedra de Botánica en la Universidad de Oxford. Ex-catedrático (1928–37) de Botánica de la Universidad de Sydney.	
QUASTEL, J. H.	El metabolismo del nitrógeno en el suelo	129
	J. H. QUASTEL, Ex-director del Departamento de Metabolismo del suelo en la Universidad de Cardiff. En la actualidad es Catedrático de Bioquímica en la Universidad de Montreal, y Co-director del Instituto de Metabolismo celular.	
SALISBURY, SIR EDWARD J.	El Real Jardín Botánico de Kew	58
	SIR EDWARD SALISBURY, Director del Real Jardín Botánico de Kew desde 1943; Secretario biológico de la *Royal Society*. Es también miembro del Consejo Consultivo Científico del Gobierno británico.	
SCHOFIELD, M.	La historia del platino maleable	125
	M. SCHOFIELD, Profesor de Química en la Escuela de Tecnología de Wolverhampton y Staffordshire. Autor de numerosos estudios de biografía y de historia de la Química.	
STARKIE, D.	Materiales plásticos ópticos	119
	D. STARKIE, Director de la Sección física del Departamento de investigación de la División de productos plásticos de *Imperial Chemical Industries*.	
STEPHENSON, T. A.	Los colores de los animales marinos	152
	T. A. STEPHENSON, Catedrático de Zoología en la Universidad de Gales, especializado en el estudio de los organismos invertebrados marinos.	
SVEDBERG, THE	Sedimentación molecular en la ultracentrífuga	89
	THE SVEDBERG, Catedrático de Química física en la Universidad de Upsala. Especializado en el estudio de la física y química de los coloides y de las substancias de elevada moleculación, tales como las proteínas, polisacáridos y polímeros sintéticos.	
TIMMERMANS, J.	Sydney Young, 1857–1937	11
	JEAN TIMMERMANS, Catedrático de Química física y de Historia de la Química en la *Université Libre* de Bruselas. Autor de numerosas investigaciones en la estoiquiometría de los compuestos orgánicos.	
VESEY-FITZGERALD, BRIAN	Los sentidos de los murciélagos	36
	BRIAN VESEY-FITZGERALD, Director de la Revista *The Field* desde 1938 a 1946. Autor de numerosas monografías y libros sobre temas de Historia natural, habiéndose especializado en el estudio de los murciélagos británicos.	
WADDINGTON, C. H.	La fotografía aérea	76
	C. H. WADDINGTON, Catedrático de Genética animal en la Universidad de Edimburgo, y Consejero genetecista del Departamento nacional de Investigación de la cría animal del Consejo Central de Investigación Agrícola. Fué durante la pasada guerra Consejero científico del Alto Mando de las Fuerzas costeras de las Reales Fuerzas Aéreas.	
YONGE, C. M.	La influencia del hombre en la vida marina	3
	C. M. YONGE, Ocupa la Cátedra «Regius» de Zoología en la Universidad de Glasgow. Especializado en estudios de biología marina, habiendo realizado investigaciones en diversos centros de estudio de todo el mundo.	

LISTA DE MATERIAS

Página

ANESTESIA, El centenario de la, EDITORIAL .. 1
ANIMALES marinos, Los colores de los, T. A. STEPHENSON .. 152
APARATOS físicos empleados en la Medicina, Algunos, DAVID S. EVANS .. 69
COLORACION del vidrio, La química en la, L. M. ANGUS-BUTTERWORTH .. 112
COMPUESTOS orgánicos silíceos y su desarrollo industrial, Los, D. V. N. HARDY .. 29
CRISTALOGRAFIA óptica, Algunas aplicaciones de la, N. H. HARTSHORNE .. 15
CROMATOGRAFIA, Los principios de la, A. J. P. MARTIN .. 21
ENERGIA, La conservación de la, EDITORIAL .. 137
ENERGIA atómica, amenaza y promesa, La, R. E. PEIERLS .. 51
ESPECTROSCOPIA de las llamas, La, R. F. BARROW .. 85
FIJACION nitrogénica por algas verdi-azules, La, G. E. FOGG .. 172
FOTOGRAFIA aérea, La, C. H. WADDINGTON .. 76
JAMES HUTTON, fundador de la Geología moderna, D. STARKIE .. 109
LOUIS PASTEUR, EDITORIAL .. 97
LUCHA contra la langosta, Evolución de la, O. B. LEAN .. 165
MATERIALES plásticos ópticos, D. STARKIE .. 119
MURCIELAGOS, Los sentidos de los, BRIAN VESEY-FITZGERALD .. 36
NITROGENO en el suelo, El metabolismo del, J. H. QUASTEL .. 129
PLATINO maleable, La historia del, M. SCHOFIELD .. 125
PRADERAS y dehesas británicas, El mejoramiento de las, T. G. B. OSBORN .. 160
RAYOS X y el átomo de carbono, Los, KATHLEEN LONSDALE .. 139
REAL Jardín Botánico de Kew, El, SIR EDWARD J. SALISBURY .. 58
RESONANCIA en la química de los quanta, El significado de la, C. A. COULSON .. 42

REVISTAS de libros: *Página*

A Botanist in Southern Africa, JOHN HUTCHINSON .. 95
Bibliography of the Technical Literature on Silk, F. O. HOWITT .. 176
Breeding of Farm Animals, The, CHAPMAN PINCHER .. 135
Characterization of Organic Compounds, F. WILD .. 135
Chemistry of Free Radicals, The, W. A. WATERS .. 96
Controlled Atmospheres for the Heat-treatment of Metals, IVOR JENKINS .. 176
Diffraction of X-rays and Electrons by Molecules, M. H. PIRENNE .. 48
Entwicklungsgeschichte der Chemie, Die, H. E. FIERZ-DAVID .. 96
Fourfold Vision, The, F. SHERWOOD TAYLOR 48
Frontiers of Astronomy, DAVID S. EVANS .. 47
Fundamental Theory, SIR A. S. EDDINGTON 96

REVISTAS de libros *Página*

High Resolution Spectroscopy, S. TOLANSKY 136
Inventions, Patents, and Monopolies, P. MEINHARDT .. 176
Kristalle und Gesteine, P. ESKOLA .. 176
Life of a Chemist: Memoirs of V. N. Ipatieff, X. J. EUDIN, H. D. FISHER, y H. H. FISHER (editores) .. 136
Methods of Mathematical Physics, HAROLD JEFFREYS y BERTHA SWIRLES JEFFREYS 135
Penicillin, its Properties, Uses and Preparations .. 136
Plastics for Production, PAUL I. SMITH .. 136
Practical Chemistry for Medical Students, WILLIAM KLYNE .. 48
Principles of Agricultural Botany, ALEXANDER NELSON .. 135
Relaxation Methods in Theoretical Physics, R. V. SOUTHWELL .. 96
Science and Nutrition, A. L. BACHARACH 48

SEDIMENTACION molecular en la ultracentrífuga, THE SVEDBERG .. 89
SOCIEDAD de Química de Londres, Nota .. 28
SOCIEDAD de Química (de Londres) tras cien años de existencia, La, C. S. GIBSON .. 63
SOCIEDAD Literaria y Filosófica de Manchester, La, H. J. FLEURE .. 147
SOCIEDADES científicas, La función de las, EDITORIAL .. 49
SYDNEY YOUNG, 1857–1937, J. TIMMERMANS .. 11
TIERRA, La edad de la, ARTHUR HOLMES .. 99
VIDA marina, La influencia del hombre en la, C. M. YONGE .. 3

Impreso en la Gran Bretaña en THE KYNOCH PRESS, *Witton, Birmingham, 6, para los editores*
IMPERIAL CHEMICAL INDUSTRIES LIMITED, *Londres*, S.W.1

ENDEAVOUR

Revista trimestral designada a registrar el progreso
de las ciencias al servicio de la humanidad

VOLUMEN VI ENERO 1947 NUMERO 21

El centenario de la anestesia

Aunque es imposible asignar el descubrimiento de la anestesia a una persona o época determinadas, tantos sucesos de fundamental importancia para la historia de la anestesia ocurrieron hace cosa de un siglo que está justificado celebrar en estos días su centenario. Y es apto recordar aquí que aunque la anestesia se usa casi exclusivamente en la medicina y odontología, su descubrimiento y desarrollo fueron, en mucho, obra del científico; en efecto, podemos decir que la historia toda de la anestesia es un ejemplo de la fructífera colaboración de médicos y científicos.

Las dos fechas sobresalientes en la historia de la anestesia son el 16 de octubre de 1846, día en que William Thomas Green Morton demostró, con éxito pleno, el uso de la anestesia ante un círculo de cirujanos en Boston, Massachusetts; y el 4 de noviembre de 1847, cuando James Young Simpson y los doctores Keith y Matthews Duncan volvieron en sí bajo la mesa del comedor de Simpson después de haber inhalado cloroformo, droga « mucho más eficaz que el éter ». Ambos sucesos representaron la culminación de investigaciones anteriores por científicos que, aunque no consiguieran alcanzar su propósito de instituir la anestesia como una práctica médica general, realizaron grandes avances hacia dicho ideal.

El primer descubrimiento de importancia fué el aislamiento del oxígeno por Priestley en 1774, cuya importancia fisiológica fué apreciada rápidamente por Lavoisier, quien, durante el período 1774–85, elucidó el problema de la composición atmosférica y estableció los principios del proceso respiratorio. Tales descubrimientos condujeron al desarrollo de la medicina neumática que abogaba por el tratamiento de las enfermedades mediante la inhalación de gases. Pionero de dicho método fué Thomas Beddoes, profesor de química en Oxford, quien en 1794 estableció una Institución Neumática en Clifton, Bristol, para continuar en ella sus investigaciones. Una de las substancias estudiadas por Beddoes fué el « éter sulfúrico », en el que halló cierto valor terapéutico para las enfermedades del pecho. Entre los colaboradores que Beddoes atrajo a Bristol se hallaba el joven Humphry Davy. Davy apenas tenía veinte años cuando se hizo cargo de la superintendencia del Instituto, pero su entusiasmo por la química superó su juvenil inexperiencia; una de sus primeras tareas fué la investigación de las propiedades químicas y fisiológicas del óxido de nitrógeno, descubriendo, en abril de 1799, que dicho gas no sólo era respirable sino que producía cierta embriaguez que amortiguaba el dolor, y, reconociendo el valor potencial que ello podía tener para la cirugía, anotó en 1800 « el óxido de nitrógeno . . . parece poder vencer el dolor físico, pudiendo con toda probabilidad ser utilizado con provecho en las operaciones quirúrgicas en las que no se produzca gran efusión de sangre ». Por desgracia Davy no insistió sobre su descubrimiento y los investigadores médicos no se interesaron en este punto hasta muchos años más tarde; pero Davy había observado otra cualidad del mismo óxido: su poder de producir cierta hilaridad, lo que le ganó el nombre de « gas de la risa ». Tan agradable era el efecto que producía en los que lo inhalaban que se puso de moda durante la época tomar vahos como diversión, y esta frívola aplicación hizo que dicho gas permaneciese bien conocido hasta que, cincuenta años después de las observaciones primeras de Davy, halló su lugar apropiado entre los productos de la anestesia quirúrgica. En 1818 alguien sugirió, probablemente Michael Faraday, que el vapor de éter podía producir la misma hilaridad que el óxido de nitrógeno, comenzando también a ser inhalado en las cachupinadas de moda de la época.

Hacia la misma época un médico británico

llamado Henry Hill Hickman, que ejercía en Shropshire, encontró que se podían realizar operaciones quirúrgicas animales sin dolor si se hacía inhalar a los pacientes una dosis de ácido carbónico; publicó en 1824 sus resultados, pero al no hallar apoyo entre sus colegas no intentó aplicar el método a pacientes humanos.

Mientras tanto la moda del gas de la risa y las borracheras « etéreas » se había extendido por los Estados Unidos, y en una de éstas C. W. Long, médico de Georgia, observó que, mientras se hallaban bajo la influencia del éter, sus invitados se daban golpes, a veces morrocotudos, sin sentir dolor alguno; en los años 1842–4 realizó algunas intervenciones quirúrgicas de poca importancia usando éter como anestesia. En diciembre de 1844 Horace Wells, dentista de Connecticut, hizo la misma observación que Long había hecho con el éter, y al día siguiente rogó a un colega suyo que le sacase una muela mientras se hallaba bajo la influencia del óxido de nitrógeno; Wells no sintió dolor alguno y comenzó desde entonces a usar anestesia en su práctica dental. Desgraciadamente, en cierta ocasión en que Wells y otro colega suyo, William Thomas Green Morton, realizaron una demostración en público, fracasaron rotundamente y el método quedó desacreditado; lo cual no descorazonó a Morton, quien se determinó a ensayar el vapor de éter en lugar del óxido de nitrógeno. Siguiendo el consejo de un amigo suyo, químico, C. T. Jackson, Morton se procuró una cantidad de éter muy puro, utilizándolo con gran éxito en una extracción; y el 16 de octubre de 1846 Morton celebró su famosa demostración del uso del éter como anestésico quirúrgico ante un auditorio médico y científico en Boston, demostración que resultó un extraordinario éxito; los escépticos quedaron convencidos, y el principio de la anestesia por éter fué aceptado por el cuerpo médico en los Estados Unidos, Inglaterra, Francia, y, más tarde, el resto del mundo.

Trece meses más adelante James Young Simpson, en busca de una substancia más manejable que el éter, probó en Edimburgo las valiosas cualidades anestésicas del cloroformo; y aunque dicho agente mostró pronto ser mucho más peligroso que el éter, el más fácil control en su aplicación hizo más común su uso.

Durante muchos años el desarrollo de la anestesia se redujo al perfeccionamiento de la técnica de la aplicación del cloroformo, éter y óxido de nitrógeno; pero en 1884 se realizó un gran avance cuando Carl Koller introdujo la cocaína en la cirugía oftálmica, estableciendo así los fundamentos de la moderna técnica de la anestesia local. Era esto, en cierto modo, volver a un muy antiguo método, ya que ciertas drogas, como el opio y la mandrágora, habían sido conocidas entre los antiguos por sus propiedades analgésicas. Koller revivificó el interés en éstas en un instante en que el progreso del conocimiento médico y científico permitía su uso con relativa seguridad.

Fueron los investigadores químicos quienes comprendieron mejor las oportunidades que les presentaba la necesidad de anestésicos más efectivos; y aprovechándose de las investigaciones sobre la estructura de las substancias naturales tales como la cocaína y la morfina, se dedicaron a la síntesis de drogas artificiales, basándolas primeramente en los productos naturales para investigar más tarde compuestos enteramente nuevos. El efecto ha sido una multiplicación asombrosa del número de anestésicos con que cuenta hoy la medicina. Éter, cloroformo y óxido de nitrógeno continúan siendo de uso general, pero a ellos se han añadido nuevas substancias como el cloruro etílico, éter vinyl (vinesteno), tricloroetileno (trileno), ciclopropano, pentotal, kemitán, procaína, y nupercaína.

El descubrimiento de la anestesia quirúrgica ha sido descrito, y con buena razón, por Sir William Osler como el mayor descubrimiento en la historia de la medicina, porque su influencia en el alivio del dolor humano ha sido, en verdad, inconmensurable. Y en un momento en que el carácter destructivo de la ciencia aplicada tiende a obscurecer sus más generosos servicios a la humanidad, los investigadores científicos bien pueden enorgullecerse de la intervención que han tenido en su descubrimiento y desarrollo.

Redactor: E. J. HOLMYARD, M.A., M.Sc., D.Litt., F.R.I.C.
Redactor auxiliar: TREVOR I. WILLIAMS, B.A., B.Sc., D.Phil.
Ediciones extranjeras: J. A. WILCKEN, B.Sc., Ph.D.
26 Dover Street, London, W.1

La influencia del hombre en la vida marina

C. M. YONGE

La influencia del hombre sobre la vida del mar tiene un origen más bien reciente, ya que hasta hace unos doscientos años la cantidad de pesca extraída de tal elemento era demasiado reducida para que pudiese alterar el equilibrio natural. Pero los adelantos técnicos en la navegación y la pesca han causado enormes estragos entre la fauna marina. Cada día se hace más general la idea de que el cultivo sensato del mar es tan necesario como el de la tierra, presentando a continuación el Profesor Yonge los datos fundamentales de dicho problema.

El hombre ha producido un profundo efecto sobre la vida terrestre. Cazando, en un principio con armas de pedernal y más tarde con armas de precisión, llegó a exterminar, por ejemplo, el oso, el lobo y el jabalí en las islas británicas, y causó la casi completa extinción del bisonte en América del norte, que, como la caza mayor del Africa, ha sido salvado únicamente a causa de las medidas de protección dictadas a última hora. La fauna peletera es la víctima constante de sus trampas, y su afán irracional de destruir la vida animal ha causado la desaparición irreparable de aves únicas, como el dido y el gran alca. El cultivo de las plantas y la domesticación animal ha modificado plantas y animales en tal modo que es imposible establecer hoy el origen exacto de algunas especies, produciéndose asimismo extensos cambios en el equilibrio natural, ya que cuanto más se extendía el cultivo vegetal tanto mayor era el número de pestes — insectos, roedores y pájaros — que aquéllas atraían.

Los descubrimientos geográficos y la expansión del hombre occidental por los continentes de América, Africa y Australasia originaron la introducción de sus cosechas y animales domésticos en las nuevas tierras y la importación al viejo continente de numerosas plantas extranjeras. Razones sentimentales, muchas veces, explican la introducción de un sinnúmero de otras plantas y animales; y esta mezcla indiscriminada de fauna y flora produjo desastres tales como las plagas de conejos y chumberas en Australia, y las de matorrales espinosos diseminados por el estornino importado a Nueva Zelandia.

La vida marina ha sido mucho menos alterada por el hombre. La oscuridad de sus profundidades y la enorme amplitud de los océanos hacen difícil la extinción de su fauna, mientras que la mayor parte de la vegetación marina y de la fauna invertebrada son inútiles para el hombre. Se ha dicho que en el mar el hombre cosecha sin sembrar, lo que es muy verdad; pero tiene también el efecto de no producir el sentido de responsabilidad del proprietario, uno de los resultados de la domesticación de animales y cultivo de las plantas, causa a su vez de la limitación de la insensata codicia del cazador. Esta ausencia de responsabilidad se manifiesta claramente en la persecución de los mamíferos marinos por el hombre.

Tres grandes grupos hay en ellos: los sirénidos o vacas marinas, los carnívoros marinos tales como las focas y morsas, y los cetáceos, que comprenden las ballenas, delfines y puercos marinos. Los sirénidos son un pequeño grupo de origen oscuro y forma grotesca. Habitan en las aguas costeras y estuarinas, alimentándose de plantas marinas. Formaban, hasta fecha reciente, tres grupos: el dugong del océano indo-pacífico, el manatí del Atlántico tropical, y la vaca marina, de mayor tamaño, del Pacífico norte. Los dos primeros grupos aún sobreviven, a pesar de estar muy perseguidos — por tribus primitivas principalmente, por fortuna — debido a su carne y esperma. Las vacas marinas fueron exterminadas unos treinta años después de ser descubiertas por el joven naturalista alemán Georg Steller, en 1741, durante el primer viaje de descubrimiento de Behring por el Pacífico norte. Con enormes dificultades, mientras se hallaban aislados en la Isla de Behring, y con gran oposición entre sus ayudantes, Steller diseccionó y describió el animal. Los pescadores y traficantes rusos que siguieron a Behring exterminaron rápidamente su especie, y hoy sólo nos quedan unos cuantos esqueletos, aparte de la descripción de Steller.

Las morsas se extendían anteriormente en

enormes números por las regiones septentrionales del Atlántico y Pacífico, llegando hasta Nueva Escocia y, en ocasiones, hasta las costas británicas. Grandes matanzas, que alcanzaron hasta 900 animales en un solo día, cerca de Spitsbergen en 1852, y que permitieron la importación de 12.000 colmillos anuales en San Francisco tan sólo entre 1870 y 1880, han restringido su campo de acción a las zonas más septentrionales. Las focas han sido víctimas de parecida destrucción, en especial las que crían en los acantilados, como la foca gris del Atlántico; la foca de Groenlandia, que es el animal más importante para la pesquería de focas de Terranova, y las inmensas focas elefantes (figura 1). Entre éstas, la especie californiana es hoy rara, pero los naturalistas de la expedición del *Discovery* hallaron que la especie antártica, pescada en tan gran escala que se había considerado prácticamente extinta hace un siglo, había alcanzado una población de unos cien mil ejemplares alrededor de Georgia del Sur, donde su pesca se halla hoy limitada a ciertas regiones costeras definidas anualmente. Otra especie, de agua templada, que era antes pescada en abundancia en las Indias occidentales, es hoy de gran rareza.

Estos animales son codiciados por su carne y esperma, pero las focas de oreja, o leones de mar, incluyen las focas peleteras que son pescadas por sus pieles, tan valiosas como las del armiño, castor o zorro plateado. Anteriormente abundaban diversas especies en las aguas septentrionales y meridionales, pero estas últimas han sido casi totalmente exterminadas, aunque cabe la esperanza de que puedan volver a establecerse en Georgia del Sur. La más grande pesquería se hallaba establecida en las Islas Pribilov, en el Mar de Behring, a unos 500 Km. de Alaska, que fueron descubiertas por los rusos en 1786, época en que se debió contemplar por vez primera el extraordinario espectáculo de un vasto acantilado en el que cada macho que había conseguido reunir un harem de un centenar de hembras, luchaba continuamente contra otros machos que pretendían desalojarle. Los pescadores rusos y norteamericanos mataron más de dos millones de focas durante los cincuenta años siguientes, y cuando los Estados Unidos adquirieron las islas en 1867 y quisieron establecer cierto control sobre la pesca de focas en alta mar se produjeron ciertas complicaciones internacionales que abocaron al arbitraje de un tribunal en París. Más tarde, fueron enviadas dos comisiones anglo-americanas a las Islas Pribilov en 1891 y 1896–7, hasta que al fin se dictaminó por acuerdo internacional la prohibición de la pesca en alta mar de las focas, y su caza en las Islas quedó limitada a las necesidades para la alimentación de la población local.

La divertida nutria marina fué descubierta por los rusos en la costa de Siberia, siendo este animal uno de los más valiosos entre los peleteros, víctima de intensa caza desde dicha costa hasta la zona de las Islas Aleútian y California meridional, donde operaban los pesqueros británicos y norteamericanos. Su extinción casi completa fué de nuevo seguida por la protección internacional a principios del presente siglo; el restablecimiento de la especie ha sido lento, estimándose hoy su población en unos dos mil ejemplares en la zona septentrional, y unos doscientos en la meridional.

Su impotencia y su proximidad a las costas invitaban a la matanza de las vacas marinas, focas y nutrias; pero un destino semejante les esperaba a los cetáceos — ballenas y rorcuales.

El Hombre, el cazador, ha causado asimismo graves daños en muchas especies de peces que le sirven de alimento. El desarrollo de la moderna industria pesquera usando redes flotadoras data de la creación y crecimiento de las grandes ciudades industriales y se basa en la posibilidad del rápido transporte entre éstas y los puertos de pesca. Los primeros pesqueros del Mar del Norte tenían su base en Brixham, Devon, y operaban primeramente en falúas abiertas y más tarde en barcas de doble mástil; su campo de actividades se extendió gradualmente hasta llegar al rico banco de Dogger. Hacia el fin del pasado siglo comenzaron a funcionar los pesqueros a vapor, con sus eficacísimas redes de arrastre, remplazando a los veleros y cubriendo en sus operaciones desde el Mar de Barentz en el N. hasta las costas de Marruecos en el S. Esta extensión del campo de operaciones se hizo necessaria debido a la creciente escasez de la pesca en sus bancos originales; una serie de Comisiones oficiales halló repetidas pruebas del exceso de pesquería, pero no se realizó gestión alguna, ya que la explotación de nuevas áreas ocultaba en parte la escasez que se iba creando. Poco después, la guerra de 1914–18 forzó una veda en la pesquería, cuyo resultado causó gran interés: la pesca había aumentado, tanto en tamaño como en número. El período entre ambas guerras fué utilizado por el Ministerio de Pesquería para el estudio científico de las posibles soluciones a este grave problema; lo cual era tanto más necesario cuanto que con el transcurso de los años se volvió a hacer evidente el efecto de la excesiva pesquería. Daremos sólo un ejemplo

FIGURA 1 – *Manada de focas elefantes en una playa de Georgia del Sur. La figura del cazador muestra el tamaño del macho.*
(Reproducción por cortesía del Dr. L. Harrison Matthews.)

FIGURA 2 – *Ostras japonesas* (Ostrea gigas) *en Ladysmith Bay, Isla de Vancouver, donde se han aclimatado después de su transplante desde el Japón.*

FIGURA 3 – *El foso de Fort Jefferson, Islas de las Tortugas, en el Golfo de México.*

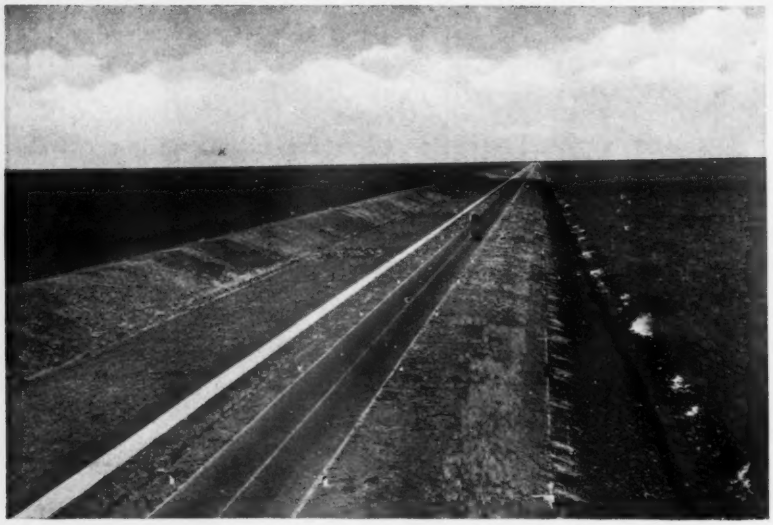


FIGURA 5 – *Dique del Zuiderzee.*

Antes de cerrar este dique en 1932 se hizo un estudio ecológico completo de la región encerrada. Los cambios que resultaban fueron anotados. Los resultados de esta transformación de un gran area de agua salina en un lago interior han sido de gran interés tanto teórico como práctico.

FIGURA 4 (*izquierda*) – *Estrellas de mar apresadas en las redes de un criadero de ostras norteamericano.*

de los muchos citados en la obra del Dr. E. S. Russell, *The Overfishing Problem:* en 1906 el total medio diario de ceciales pescados por las vaporas inglesas alcanzó a 7,8 quintales; bajó a 4,6 en 1914; llegó a 15,8 en 1919, decayendo a 2,6 en 1937 (figura 6).

Un evidente método de control consiste en ampliar la malla de las redes de arrastre que barren anualmente la entera superficie productiva de los bancos pesqueros, permitiéndose así que los peces pequeños puedan escapar y crecer, y posiblemente reproducirse, antes de ser pescados definitivamente. Otra medida de mayor alcance es la limitación de la actividad pesquera; lo cual requiere un profundo conocimiento de la natural productividad de la pesca. A diferencia de los mamíferos marinos con su reproducción vivípara bianual, los peces producen un vasto número de huevas, de las que sólo cuajan una cantidad limitada; el alimento, aunque abundante, no es infinito, y el crecimiento de los animales depende en alto grado de la competición; en otras palabras: la moderada pesquería produce un efecto beneficioso, ya que reduce la competición y favorece a un sector de la pesca a alcanzar un mayor tamaño. Pero una pesquería demasiado intensiva produce el efecto opuesto, como es natural.

A pesar del gran tamaño y de la oscuridad que rodea a los bancos de pescado, se conocen bien los factores básicos referentes a la productividad de los peces principales del Atlántico norte, debido sobre todo a los esfuerzos de los equipos científicos de los servicios de pesquería ingleses y escoceses y de otros países marítimos de Europa occidental. Todos ellos trabajan normalmente en estrecha cooperación por medio del Consejo Internacional de Exploración Marina.

Hoy, tras una segunda veda forzada en el espacio de una generación por la guerra, nos hallamos en una situación muy favorable para conservar los bien provistos bancos de pesca de la Europa occidental, opinión sustentada sin duda alguna por el gobierno británico, a cuya invitación se reunió una conferencia internacional en Londres para discutir los problemas del exceso en la pesca. Accidieron representantes de todas las naciones marítimas de Europa occidental, a excepción de Alemania, considerándose la posibilidad

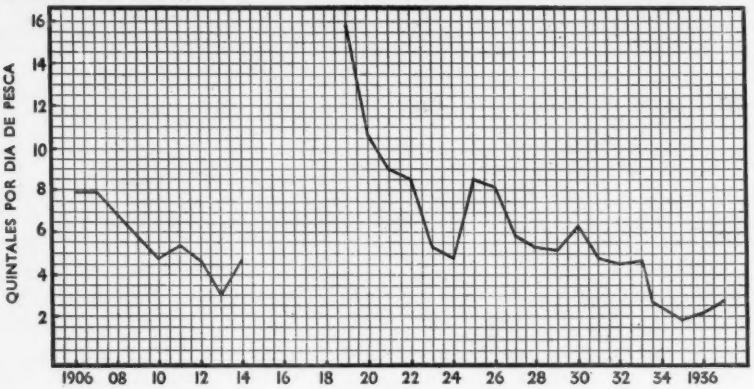


FIGURA 6 – *Gráfica que muestra la pesca de ceciales en quintales por día de ausencia por las vaporas pesqueras inglesas en el Mar del Norte, mostrando claramente los efectos de la super-pesquería antes y después de la guerra de* 1914–18.
(*Datos tomados de* The Overfishing Problem, *por E. S. Russell.*)

de un acuerdo para la regulación pesquera en el Mar del Norte y áreas adyacentes. Teniendo en cuenta la situación de Europa, no podían establecerse decisiones de gran alcance, pero se llegó a un acuerdo en cuando al incremento del tamaño de la malla de las redes de arrastre, y a la limitación del tamaño de las doce especies alimenticias más importantes: los demerales. No se aceptó, sin embargo, la limitación del tonelaje de las flotas pesqueras de los diversos países, propuesta por Inglaterra, pero coincidieron todos en la seriedad del problema, estableciéndose un comité consultivo para estudiar su solución.

La aquicultura, o sea el cultivo de la fauna y flora acuáticas, ha sido llevada a cabo en una escala mínima en comparación con la agricultura. Con la excepción del cultivo de ciertas algas en Japón, de las que se obtiene el agar, está totalmente ceñida a los animales. Su mayor triunfo, y no pequeño, ha sido el cultivo de las ostras y otros bivalvos.

El fin de la aquicultura es incrementar cierto sector de la fauna, bien en número o en el tamaño de sus individuos. Puede ello realizarse mejorando sus posibilidades de supervivencia por medio del transplante a regiones donde abunde más el alimento, o por medio del incremento de su fertilidad en aguas confinadas. Aunque existen pruebas de que los romanos practicaban un método primitivo de cultivo de ostras en el Lago Fusaro y en otros lugares, el moderno cultivo puede decirse que data de los esfuerzos de Costé en los lechos de ostras franceses; los cuales, antes muy prolíficos, mostraron una tendencia progresiva a despoblarse, debido a la creciente demanda que partía de las ciudades industriales durante la mitad del siglo pasado. Costé comprendió el hecho fundamental de que la ostra produce un número inmenso de larvas que nadan libres, pero de las que sólo una fracción mínima encuentra la necesaria superficie dura y limpia para establecerse cuando se hunden al fondo. De sus sugerencias y experimentos se ha derivado el método moderno de los «colectores», o tejas semi-cilíndricas en las que hay incrustadas cal y arena, y en las que se depositan durante la primera parte del verano, en la época de desove, los millones de cuajes que hallan así la superficie necesaria para su desarrollo. Costé descubrió además la necesidad de protección cuando las jóvenes ostras son raspadas de las tejas y transportadas a «ambulancias» en las que se hallan protejidas por unas rejillas de sus numerosos enemigos: cangrejos, estrellas de mar, rayas y caracoles marinos. Más tarde las ostras se depositan en amplios parques de los que se desaloja a los intrusos cuando baja la marea. La extensa área de tales parques alrededor de la somera, casi cerrada, bahía de Arcachon, y en otras regiones de la costa francesa, son prueba de la existencia de una industria floreciente. También descubrieron los franceses que las ostras crecen y se ceban en áreas donde no se reproducen necesariamente, y comenzaron a transplantarlas a lagunas poco profundas, o «claires», en la región de Marennes, en cuyas templadas aguas, la fauna marina o «phytoplankton» de que se alimentan las ostras se multiplica rápidamente.

Métodos semejantes, en los que se incluye la provisión de superficies de desarrollo, expulsión de enemigos y transplante a más favorables campos de alimentación, se han desarrollado en otros muchos países, especialmente en los Estados Unidos. En el río Delaware, por ejemplo, se mantiene un campo natural de reproducción a cierta distancia del estuario, provisto de un sistema de colectores que consiste, en este caso, de una superficie de conchas de ostra, bien libres o

bien sujetas a una alambrada. Dichos colectores son más tarde dragados, separándose las jóvenes ostras, parte de las cuales pasa a otros lechos más cerca del mar donde crecen rápidamente; se lleva a cabo una continua batalla contra las pestes, siendo los lechos barridos regularmente por una red de hilos de algodón en la que se recogen millones de estrellas de mar (figura 4). El producto de esta factoría alcanza la cifra de unos 400 millones anuales.

A lo largo de la costa atlántica francesa se cultivan también los mejillones, en largas empalizadas de postes y espinos clavados en el lodo. Este sistema de «*bouchot*» fué introducido por un irlandés llamado Walton, único sobreviviente de un barquito naufragado en 1235 en el Anse de l'Aiguillon. Se cuenta que en las fangosas costas de esta somera bahía, muy expuestas a la baja marea, nuestro irlandés se dió a clavar estacas para sujetar a ellas una burda red de hierbas con la que esperaba cazar las aves marinas, pero hallando que los mejillones que pronto cubrieron la red crecían más que los de la ribera, se dedicó a su cultivo como alimento, plantando una serie de estacas con sus redes correspondientes, y estableciendo así la simple forma de cultivo que aún persiste.

Otro ejemplo del cultivo de bivalvos es el de la granja de madreperlas de Dongonab, en el Mar Rojo, establecida por el Dr. C. Crossland desde 1905 a 1923, fecha en que el deprecio de la madreperla y el cultivo de la industria perlífera en Japón ocasionaron su abandono. La pequeña cuenta que forma el núcleo de la futura perla se injerta en el tejido formador de perla de la ostra: todo ello una delicada operación. Otro animal muy diferente, la esponja, ofrece posibilidades para el cultivador; crece sujeta al fondo, como una planta, pudiendo recortarse esquejes que, en condiciones favorables, crecen independientes y se redondean.

El traslado a grandes distancias de animales marinos presenta problemas mucho más graves que el de la fauna terrestre. Ciertos animales originarios del viejo continente pueden desarrollarse, dado que el clima y la alimentación les sean propicios, lo mismo, y aun mejor, en el hemisferio sur o en Norteamérica. Los peces de agua dulce pueden ser asimismo transportados con buen éxito, como lo prueban la abundante población de truchas y otros peces introducidos en los ríos y lagos de Nueva Zelandia. Pero con los peces marinos existe el problema adicional de las migraciones de desove. En general, los peces se desarrollan en sus campos de alimentación, emigrando más adelante, contra las corrientes prevalentes, hacia áreas de desove, que se caracterizan por ciertas condiciones físicas y químicas bien definidas, desde las que las larvas y alevines, flotando en la superficie, son arrastrados pasivamente otra vez hacia los campos de alimentación de los adultos, pasando a veces por regiones que hacen el papel de «nurseries». Y así, aunque un pez pueda crecer y desarrollarse en un nuevo distrito al que haya sido transportado, todo el complejo mecanismo de las migraciones de desove queda alterado y el animal no puede aclimatarse. Por dicha razón han fracasado los ensayos de introducir el arenque en las aguas de Nueva Zelandia, y el salmón atlántico, introducido en los ríos con buen éxito, no pudo, por lo visto, hallar el camino de retorno a los ríos donde debe desovar, luego de haber crecido y alimentádose en el mar.

Por otra parte, el traslado a distancias limitadas es posible, y así, platijas marcadas que habían sido trasladadas de aguas costeras a los ricos campos de alimentación del Banco de Dogger, crecieron en éste mucho más aprisa que otros ejemplares en su lugar de origen. Los daneses han transplantado con gran éxito pequeñas platijas de las pululadas aguas del Mar del Norte a los más ricos distritos del Limfjord.

Es posible también trasladar algunos invertebrados marinos que viven y se desarrollan en el mismo lugar, que es usualmente en aguas someras. Las ostras y otros bivalvos son trasladados en gran escala, aunque los esfuerzos para aclimatar langostas, que tienen una manera de vida mucho más complicada, en las aguas de Nueva Zelandia no han dado buen resultado. En la Gran Bretaña, donde la población de ostras «nativas» ha disminuído considerablemente, se han comprado ostras jóvenes, o «de semilla», en Francia y en los Estados Unidos. Algunas francesas pertenecían a la misma especie que las nativas, *Ostrea edulis*, pero otras muchas se derivan de las ostras portuguesas, *O. angulata*, que colonizaron la parte meridional de la costa atlántica francesa durante los últimos cincuenta años. Esta especie crece bien en los lechos británicos, pero no se desova, por lo que no puede establecerse en estas aguas. Es evidentemente la temperatura de desove, y no la ambiental en el adulto, la que regula la distribución de los invertebrados marinos. *Ostrea edulis* desova al alcanzarse una temperatura de 15° C., pero *O. angulata* requiere 20° C., que no se da en las costas británicas. Idéntica dificultad

apareció al aclimatar la ostra japonesa, *O. gigas*, en las costas de Pacífico en Norteamérica, para reemplazar la especie local, de menor tamaño. Muy pocas veces es la temperatura lo suficientemente elevada para permitir el natural desove, pero se pudo conseguir un éxito relativo, durante los meses de verano, colocando las ostras en flotadores en las capas en las que el agua alcanza una temperatura más elevada que en el fondo. Más adelante se hizo uso del descubrimiento del Dr. P. S. Galtsoff, del Consejo de Pesquerías de los Estados Unidos, de que las ostras desovan a temperaturas inferiores si se las estimula con la presencia de sus propios productos genitales en el agua. En Vancouver se ha producido el desove regular de ostras japonesas echando en el agua suspensiones de huevos maduros y de espermas, obtenidos de los sectores en que se abre y envasa al animal, en los lechos, hacia la mitad del verano (figura 2).

Como hemos visto, todos estos tipos de cultivo en el mar consisten en asegurar las probabilidades de supervivencia de ciertas especies en áreas en las que abunda la alimentación. Pero el incremento de estos productos de alimentación, tal como en la agricultura se produce mediante el uso de fertilizantes, se halla todavía en su estadio experimental en la aquicultura. El «cebado» de las ostras en las *claires* de Marennes se debe a que las aguas se enriquecen con sales nutrientes que se filtran desde la tierra y que sirven de alimento a la rica flora con la que se nutren, a su vez, las ostras. En limitadas masas de agua es fácil conseguir la fertilización por medio de la adición de sales nutrientes a base de nitrógeno y fósforo, y los experimentos iniciales de los biólogos noruegos y daneses han revelado un significante incremento de la fauna y flora. Parecidos experimentos, con el propósito de enriquecer los depósitos piscatorios de la región, se han llevado a cabo durante los últimos años en las pequeñas lagunas de la costa occidental de Escocia.

La dispersión que las actividades humanas han causado en la fauna terrestre no tiene paralelo en el mar; ya hemos anotado algunos de los motivos de esto, tales como la asociación de las migraciones de desove de los peces con las corrientes oceánicas, y la influencia de la temperatura en la reproducción de numerosos animales marítimos. Con todo, ciertas especies han sido transportadas a nuevas áreas, como en el caso de las ostras, o bien accidentalmente. Así, al introducir ostras americanas en lechos británicos vinieron aquellas acompañadas de la lepada *Crepidula*, notada por vez primera hacia 1880 y que hoy se extiende desde el río Humber por la costa sur hasta Dorset; y a diferencia de la especie de ostra que acompañara, la lepada puede reproducirse dentro de los límites de temperatura que se dan en las costas británicas, habiéndose establecido firmemente en ellas, y siendo hoy una de las peores pestes de muchos criaderos de ostras británicos, ya que compite con estas últimas por su alimento. Hace unos treinta años la lepada apareció en las costas de Holanda, hasta donde había sido transportada, a lo que parece, a través del Mar del Norte, pegada a algun resto de naufragio o alga; y en un espacio de diez años se había convertido también en una peste en dicha zona, extendiéndose por el norte en las costas de Alemania y Dinamarca. Durante los difíciles años de la guerra, los holandeses se vieron obligados a utilizar este hasta entonces mal recibido huesped como alimento humano.

Quedan por mencionar los efectos de las grandes obras de ingeniería en la vida marina. Pudo el que estas líneas escribe observarlos con gran interés durante una visita al Laboratorio Carnegie de Biología Marina en las Islas de las Tortugas en el Golfo de México. En uno de los peñascos coralinos y arenosos se eleva la inmensa mole del Fuerte Jefferson, hoy en ruínas, rodeada de un foso que se hallaba antaño en comunicación con el mar y que resultó colonizado por una serie de corales y otros organismos marinos (figura 3). Un huracán abatió en 1919 parte del foso y los escombros y la arena fueron arrastrados, interrumpiendo la libre circulación del agua y quedando convertido en una trampa de sedimentos. En 1934 la fauna de dicho foso era muy diferente de lo que había sido antes de que se interrumpiese la comunicación con el mar; sólo aquellos organismos que podían resistir las nuevas condiciones cenagosas sobrevivieron, incluyéndose entre ellos, de las nueve especies de coral originarias, sólo una, *Siderastrea radians*, siendo lo más curioso que multitud de sus colonias se habían redondeado, cambiando su estructura esqueletal para capacitarse a la vida en aguas en las que se produce una continua caída de sedimentos.

Uno de los mayores triunfos de la ingeniería marítima fué la apertura del canal de Suez que unía, sin esclusas ni trechos de agua dulce, como en el canal de Panamá, las aguas del Océano Indico y las del Mediterráneo. En 1924, cincuenta y cinco años después de su apertura, el Profesor H. Munro Fox, de la Universidad de Cambridge, realizó un estudio de su fauna. El

mayor obstáculo para el desplazamiento animal a lo largo del canal es la elevada salinidad de los Lagos Amargos, que eran antes un valle seco con depósitos salinos originados por la desecación de un antiguo brazo septentrional del Golfo de Suez. En un grado menor, la estrechez del mismo canal y la remoción de las aguas producida por el paso de los barcos afectan a los animales, tanto grandes como pequeños. Pero a pesar de tales factores y de la alta temperatura de sus aguas poco profundas, existe hoy una fauna marina representativa en las aguas del canal y en sus lagos, compuesta predominantemente de especies del Mar Rojo, ya que las poderosas corrientes que suben desde éste hacia los Lagos Amargos las arrastran, existiendo además durante diez meses del año una corriente lenta desde los lagos al Mediterráneo. Este se halla bien representado sólo en las especies de peces, ya que estos se mueven independientemente de las corrientes, mientras que los invertebrados son arrastrados durante el estadio planktónico de su existencia y se hallan por lo tanto a la merced de las corrientes dominantes. Ciertas especies del Océano Indico están pasando gradualmente al Mediterráneo, donde dos de ellas, una ostra perlífera y un cangrejo nadador, se han aclimatado ya firmemente.

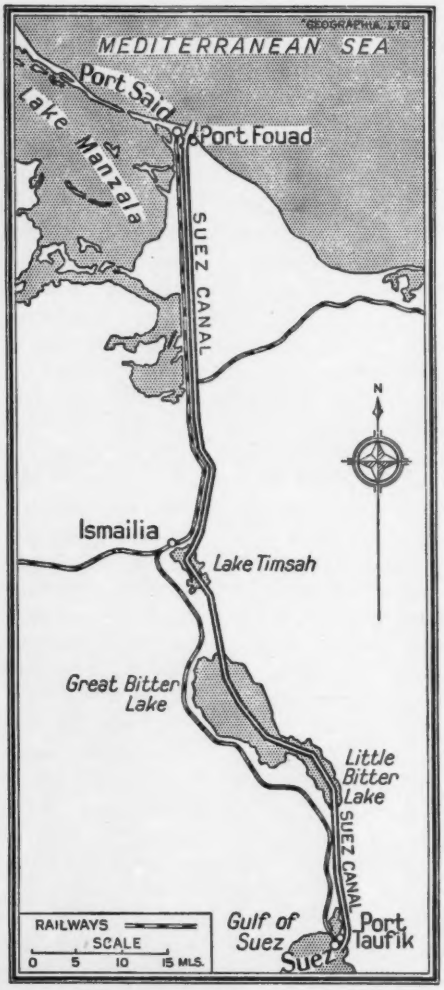


FIGURA 7 – *El canal de Suez.*

Los holandeses, en su última y más enconada batalla contra el mar, han completado el gran dique que tapó la boca del Zuiderzee en junio de 1932 (figura 5), convirtiendo una extensa área de agua salada en un gran lago interior. Antes de cerrar el gran dique se realizó un estudio completo de los animales y plantas del Zuiderzee, para poder seguir los cambios que se produjesen tanto en el ambiente como en la población. Esta se componía originariamente de una comunidad algo restringida pero fundamentalmente marina, aunque se incluía cierto número de especies endémicas de plantas y animales. La disminución de la salinidad fué acompañada por el aumento de las sales nutrientes y de la fertilidad básica, al mismo tiempo que se producía un cambio muy acusado en la fauna y la flora. Todas las especies puramente marinas, tales como los arenques, anchoas, platijas, mejillones, percebes, y cangrejos, así como una colonia de focas en la isla de Urk, desaparecieron totalmente. Las marsopas quedaron asfixiadas bajo el hielo que formaba ahora el agua dulce; las especies de agua salobre o estuarina, y en especial el solitario cangrejo endémico, se mantenían con dificultad; pero las especies de agua dulce que bajaron de los ríos llegaron a predominar a los dos años de la terminación del dique. Entre ellas se incluían las lobinas y carpas, algunos invertebrados como la mosca arlequín, *Chironomus*, que se reproduce en el agua, y numerosas plantas de agua dulce. El *Chironomus* se multiplicó tan rápidamente en la ausencia inicial de enemigos que las nubes de moscas que se elevaban del agua obstruían los radiadores de los automóviles que cruzaban el malecón.

Tras la reparación de los daños causados por la guerra, el resultado final de este gran cambio biológico producido por la intervención humana será la substitución de un poco profundo brazo de mar por un lago rodeado de cañaverales, rico en formas biológicas de agua dulce, con algunas reliquias curiosas, como la lapa de bellota y el cangrejo endémico, *Heteropanope tridentata*, memoria de su primitivo carácter salino.

Sydney Young, 1857–1937

J. TIMMERMANS

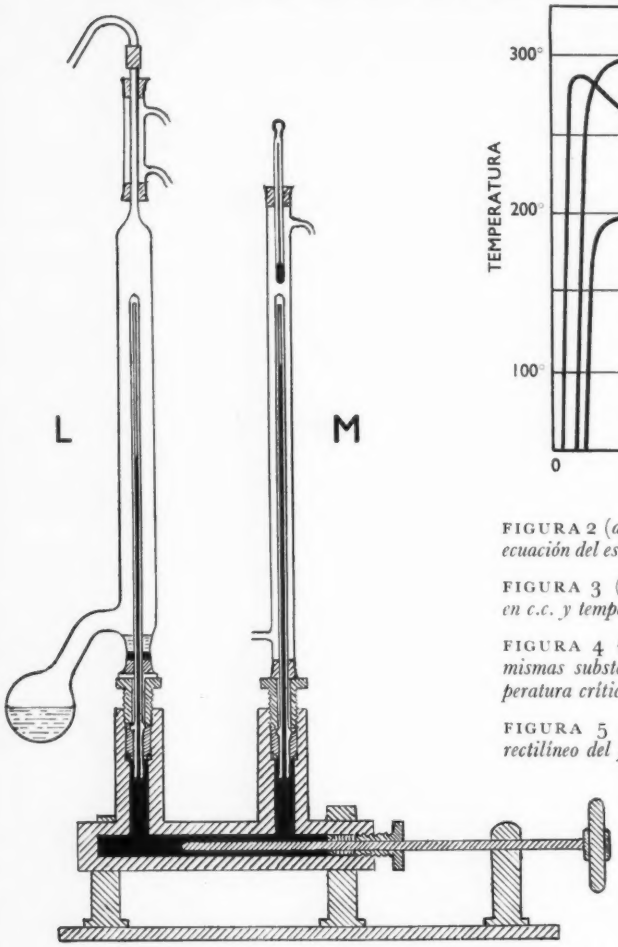
La preparación de los compuestos orgánicos puros es de gran importancia teórica y práctica; y a Sydney Young es a quien debemos la comprensión del significado de dichas substancias y el desarrollo de nuevos métodos prácticos para su obtención. Los trabajos de Young influyeron en los científicos de otros muchos países, y especialmente en Bélgica, donde existía ya una tradición bien establecida en la preparación de compuestos orgánicos puros para investigaciones estoiquimétricas, entre otras.

La química neumática ha ocupado siempre un lugar de honor en la Gran Bretaña, y la técnica de las investigaciones sobre los gases debe gran parte de su progreso a los científicos anglosajones; Boyle, Hales, Priestley, Dalton, Cavendish, Faraday, Davy, Andrews, Dewar y Ramsay son nombres que se presentan inmediatamente en la imaginación para marcar las distintas etapas de dichas investigaciones. La mayoría de dichos sabios ha alcanzado renombre universal merced a la originalidad de su trabajo; pero tras los iniciadores que se aventuran en una dirección desconocida han de venir los pioneros que toman posesión del suelo, con su ocupación definitiva. En el dominio científico, esta segunda generación de investigadores está representada por los experimentadores que se esfuerzan por adquirir un conocimiento cuantitativo de los fenómenos, midiéndolos con el mayor grado de precisión. La reputación de estos meticulosos investigadores tarda más en establecerse, ya que hiere menos la imaginación de las gentes, pero, cuando con el paso de las generaciones, se hace más patente el mérito de sus tareas, que sirven para dar al posterior progreso una base indestructible, su fama aumenta sin cesar. Sydney Young es un notable representante de idéntica actitud de espíritu, más crítico que creador, pero de una solidez de juicio incomparable.

FIGURA 1 – *Retrato de Sydney Young*

Young, oriundo de Lancashire, recibió su instrucción química bajo la dirección de Roscoe y de Schorlemmer en el Colegio de Owen de Manchester, y con Fittig en Estrasburgo; obtuvo el doctorado en Ciencias en 1883 en la Universidad de Londres, donde trabajaba a la sazón como colaborador de Ramsay. En 1887 sucedió a este último en la cátedra de Química de la Universidad de Bristol, que ocupó durante quince años: la parte más fructífera de su carrera científica. En 1903, a los 46 años, ocupó la cátedra de Química del *Trinity College*, de Dublín, pero la carga excesiva de sus obligaciones académicas le dejaron muy poco tiempo libre, que él empleó en trabajos teóricos interpretativos de sus anteriores experimentos. Fué presidente de la sección de Química en la reunión de la *British Association* en Cambridge en 1904, miembro de la *Royal Society* de Londres, vicepresidente de la *Chemical Society*, presidente de la *Royal Irish Academy*.

No es éste el lugar de hacer un estudio cronológico y detallado de las investigaciones y publicaciones de Young: puede hallarse en las hermosas biografías que le han dedicado su sucesor en la cátedra de Bristol, el Profesor Francis Francis (*J. Chem. Soc.*, 1937, pág. 1332) y su antiguo alumno de Dublín, el Dr. W. R. G. Atkins (*Royal Society Obituary Notices*, Vol. 2, 1937, pág. 371); será suficiente con que apuntemos aquí a grandes trazos la actividad del gran experimentador. Toda su carrera presenta una unidad remarcable: consagró veinte años al estudio de las propiedades termodinámicas y de los equilibrios heterogéneos



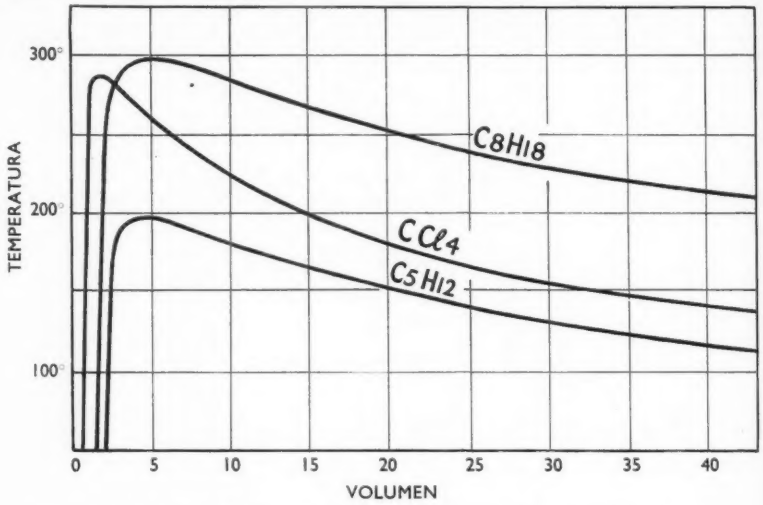
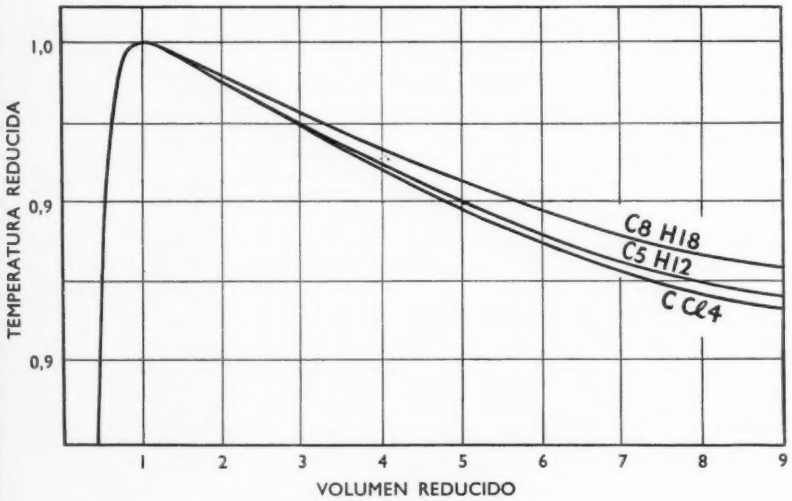


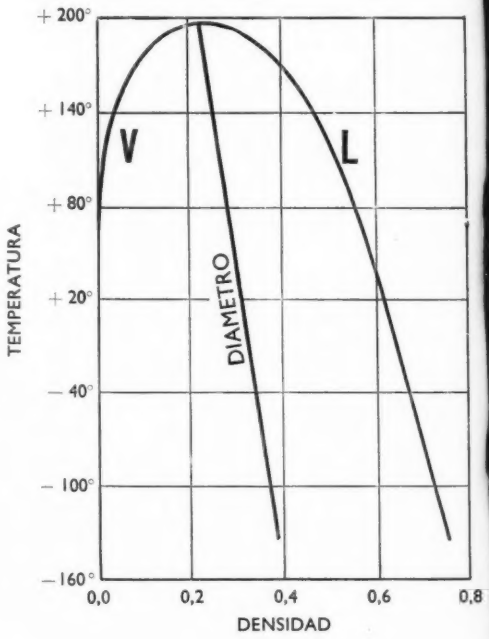
FIGURA 2 (*a la izquierda*) – *Aparato de Ramsay-Young para el estudio de la ecuación del estado gaseoso. L = Tubo de reacción; M = Manómetro de gas.*

FIGURA 3 (*arriba*) – *Volumen específico del líquido y del vapor saturado en c.c. y temperatura centígrada (volúmenes ortobáricos).*

FIGURA 4 (*abajo, a la izquierda*) – *Volumen ortobárico reducido de las mismas substancias, expresado en función del volumen crítico y de la temperatura crítica.*

FIGURA 5 (*abajo, a la derecha*) – *Densidades ortobáricas y diámetro rectilíneo del pentano normal.*





de unos treinta compuestos orgánicos puros; los resultados de sus investigaciones en esta dirección quedan expuestos en su tratado de *Stoichiometry* (1908). Por otra parte, a fin de preparar las muestras de substancias puras que requería, se vió obligado a perfeccionar los métodos y los aparatos en uso para la destilación fraccionada, y sus constataciones están desarrolladas en otra obra cuya primera edición (1922) llevaba por título *Distillation, Principles and Processes.*

Los primeros experimentos de Young sobre los equilibrios polifásicos le fueron sugeridos por Roscoe, desarrollándolos bajo la dirección de Ramsay: tenían como fin la determinación de las curvas de vapor, de cristales y de líquido en la proximidad del punto triple; pero muy pronto se especializó en la cuidadosa determinación de las constantes térmicas, densidad, presión de vapor, y de las constantes críticas de un gran número de cuerpos orgánicos. Estas fueron las investigaciones que establecieron su reputación de investigador de impecable precisión; disponiendo sólo de facilidades muy limitadas, construía él mismo sus aparatos de vidrio soldado, que son modelos de ingeniosidad y simpleza (figura 2); en la ejecución de medidas físicas de temperatura, volumen específico, presión saturada, ponía el mayor cuidado para determinar todas las correcciones necesarias que asegurasen el grado de precisión requerida, sin complicar inútilmente por ello su técnica. La exactitud de los resultados obtenidos es tal que aún hoy, cincuenta años despúes, nadie se atreve a negarlos.

El magnífico esfuerzo desplegado por Young para la determinación de las constantes, era interesante no sólo por dar datos precisos relativos a los experimentos fundamentales, sino también por su significación en relación con la ecuación de van der Waals; pudo Young demostrar que sus resultados numéricos confirmaban en toda la línea, de una manera general, la teoría, pero que era necesario modificar ciertos coeficientes numéricos. La teoría de los estados correspondientes se verifica más exactamente que la ecuación de van der Waals de la que se deduce. Finalmente, la ley llamada de diámetros lineales debe ser reemplazada para todos los líquidos investigados, con excepción del pentano, por una fórmula de segundo grado, correspondiente a una curvatura muy ligera (figura 5).

El cuidado que Young puso para ejecutar toda medida de alta precisión le sitúa como émulo de físicos como Regnault; pero donde se muestra realmente su obra de pionero es en la preparación en estado de extrema pureza de los compuestos orgánicos necesarios para sus investigaciones, ya que la determinación exacta de constantes críticas de un buen número de substancias le había indicado la extraordinaria sensibilidad de dicha magnitud física a la presencia de restos de impureza. Antes de él, sólo Mendelejeff con el alcohol etílico y de Visser con el ácido acético habían probado la posibilidad de preparar muestras de substancias orgánicas enteramente homogéneas, perfectamente anhídridas, y caracterizadas por verdaderas constantes naturales. Young verificó dicha aserción en un gran número de compuestos orgánicos con un éxito tan señalado que, en la mayoría de los casos, los valores por él dados son todavía los válidos.

Por último, habiéndose ocupado de la determinación de la temperatura de ebullición de un gran número de homólogos de diversas series orgánicas, pudo demostrar que la diferencia (Δ) de la temperatura de ebullición a presión normal entre dos miembros sucesivos de una serie cualquiera se halla en función de la temperatura de ebullición del primer miembro de la serie. Y en general la fórmula

$$\Delta = 144{,}86/T^{0.0148\sqrt{T}}$$

resulta válida con una aproximación muy satisfactoria: es una de las pocas fórmulas estoiquimétricas que tiene un valor cuantitativo real.

En el curso de sus trabajos para la preparación de substancias puras, Young tuvo necesidad de perfeccionar los métodos de destilación fraccionada y el diseño de los desflemadores. El « evaporator stillhead » de Young y Thomas es el primer aparato que permitió la separación del *n*-pentano (punto de ebullición= 34,5° C.) del isopentano (P.E.= 29,0° C.), contenidos ambos en los éteres de petróleo.

En fin, se deben a Young un gran número de prodigios experimentales y de nuevos modos de presentación de sus resultados, de extraordinaria importancia tanto para la ciencia de laboratorio como para la industria. Descubrió gran cantidad de mezclas azeotrópicas, indicando además los métodos más simples para determinar su composición cuantitativa, abriendo así un capítulo de la ciencia que había de ser muy provechoso; determinó la composición exacta de algunos azeótropos ternarios, y el proceso por él ideado para la completa deshidratación del alcohol etílico por eliminación del agua en la forma de un azeótropo ternario con el benceno, ha sido utilizado en las factorías de Kahlbaum en Alemania.

En la época durante la que Young llevaba a

cabo sus principales investigaciones, el último decenio del siglo XIX, otros sabios ingleses se ocupaban igualmente en el estudio de los compuestos orgánicos muy puros: Perkin estudiaba el poder rotatorio magnético, y Thorpe las medidas de viscosidad. Aunque Young no dejó establecida escuela en Inglaterra, su influencia originó los esfuerzos que se llevaron a cabo años más tarde entre numerosos investigadores extranjeros, especialmente en Bélgica y Estados Unidos.

Los belgas poseían ya una tradición firme y concienzuda para la preparación de substancias puras que se basaba en los esfuerzos originarios de Jean Servais Stas para la determinación del peso atómico, lo que requería reactivos de pureza extrema; continuada más tarde en el campo orgánico por Léon Crismer que había indicado la conveniencia del uso de la temperatura crítica de disolución como criterio de pureza, método de gran simplicidad y sensibilidad cuyo uso había permitido a dicho sabio demostrar cuáles eran los procedimientos más eficaces para la desecación del alcohol metílico y de los alcoholes superiores. Cuando los trabajos de Young llamaron la atención de la escuela belga, el empleo de la técnica necesaria para el estudio de los compuestos orgánicos se extendió rápidamente; Chavanne lo utilizó para perfeccionar los métodos de diagnóstico de los petróleos de diferente origen que eran sometidos a la destilación fraccionada y cuyos componentes se comparaban con las muestras sintéticas; todos los trabajos de sus alumnos se caracterizan por el particular cuidado con que se purifican y controlan las substancias orgánicas. En la Universidad de Lovaina, Louis Henry había concedido siempre gran importancia al examen de las relaciones estoiquimétricas en la química orgánica, lo que requiere el uso de productos puros; Pierre Bruylants y su escuela, continuando esta tradición, han realizado brillantes investigaciones sobre las densidades y los índices de refracción de las parafinas homólogas. En Gante, los trabajos de Frédéric Swarts, a quien se debe la descripción de la mayoría de los compuestos orgánicos fluóricos, se señalan también por el esmero en la purificación de las muestras utilizadas para la medición del índice de refracción y del calor de combustión de dicha categoría de substancias.

Todo este conjunto de condiciones favorables ha permitido la creación en Bruselas, en 1921, bajo los auspicios de la *Union Internationale de Chimie*, del Departamento de patrones físico-químicos, que ha establecido con gran precisión las principales constantes físicas de los compuestos orgánicos más comúnes, en un número de casi 200. Y, para terminar, ha sido también en Bruselas donde Lecat inició sus trabajos químicos, tan extensos y fructíferos en el dominio del azeotropismo.

En los Estados Unidos, los servicios del *Bureau of Standards* de Washington se han hecho cargo, bajo la dirección del Profesor Washburn, de los trabajos más importantes para el conocimiento de los hidrocarburos de petróleo muy puros y su calor de combustión. Otras investigaciones llevadas a cabo en los laboratorios californianos para la medición de las variaciones de entropía han requerido por necesidad la preparación de compuestos orgánicos de gran pureza. También en América, aunque en menor grado, se hace sentir la influencia de Young, por intermedio de dos antiguos alumnos de la Universidad de Bruselas: Albert Henne, catedrático en la Universidad de Columbus (Ohio) en donde las bellas investigaciones sobre los compuestos orgánicos fluóricos reúnen en sí las características de la escuela de Chavannes y de la de Swarts; y Georges Callingaert, Director de los laboratorios de investigación de la *Ethyl Gasoline Corporation* de Detroit, donde se ocupa con éxito del estudio de las parafinas de alta pureza.

Es, pues, evidente que el ejemplo de Young ha influído en importantes escuelas de investigadores que estudian los compuestos orgánicas puros; durante mucho tiempo se habían contentado con utilizar para la medición de las llamadas constantes muestras de grosera impureza, existiendo por lo tanto una discrepancia manifiesta entre el factor químico de pureza y el factor físico de precisión. Los químicos sabían desde hace ya mucho tiempo que en el dominio de la química mineral cada especie definida tiene características físicas constantes e invariables, sea cual sea el origen de la muestra utilizada, siempre que el proceso de purificación se halle realizado debidamente. Pero la mínima estabilidad de las substancias de la química orgánica y la dificultad de su purificación y conservación en estado de pureza habían hecho pensar, durante largo tiempo, que no existían tales constantes invariables, y es a Young a quien debemos la convicción de que una especie orgánica pura está tan netamente definida como lo pueda estar un elemento mismo.

Algunas aplicaciones de la cristalografía óptica

N. H. HARTSHORNE

Tanto en el campo de la Ciencia pura como en el de la Industria y en el de la Tecnología, el microscopio polarizador ha demostrado, durante los últimos quince a veinte años, su utilidad para la identificación y análisis de substancias sólidas. Mediante su empleo es fácil distinguir los distintos compuestos pertenecientes a series íntimamente relacionadas, identificar los componentes en mezclas sólidas de sales, diferenciar los estereoisómeros y determinar la naturaleza de las fases sólidas en sistemas tales como las mezclas de silicatos.

La determinación de las propiedades ópticas de las substancias cristalinas transparentes por medio del microscopio polarizador forma la base de la técnica petrológica para la diferenciación e identificación de las especies minerales en las rocas. Este método de identificación ha hallado numerosas aplicaciones en otros campos, especialmente en la práctica de la Química general y en el estudio de una gran variedad de productos naturales e industriales tales como ladrillos refractarios, escorias, cementos, explosivos, plásticos y fibras textiles. Varios autores [1] han hecho resaltar las vastas aplicaciones del método que describimos en este artículo.

Otros dos métodos cristalográficos de identificación se basan respectivamente en la medida de los ángulos característicos interfaciales y en el estudio de los espectrogramas de polvos por medio de rayos X. El primero sólo puede aplicarse a compuestos individuales de cristales bien formados y de dimensiones suficientemente grandes para poder colocarlos en el goniómetro. El segundo método puede aplicarse directamente a mezclas y es especialmente útil cuando el estado de división del material es cercano o menor que el límite de resolución del microscopio. Cuando no sea así, en general es más apropiado, más rápido y más sencillo el método óptico.

Las características esenciales de la óptica cristalina son las siguientes: Los cristales del sistema cúbico son *isotrópicos* a la luz, o sea, la luz pasa a su través con igual velocidad en todas direcciones. Los cristales de todos los demás sistemas son *anisotrópicos*: su estructura y propiedades físicas, incluso la velocidad de propagación de la luz, son diferentes para las distintas direcciones. Cuando un rayo de luz penetra en un cristal de este tipo se refracta, en general, en dos haces con distintas velocidades, que están polarizados según planos mútuamente perpendiculares. Existen, sin embargo, ciertas direcciones llamadas *ejes ópticos* a lo largo de las cuales no ocurre la doble refracción. Los cristales tetragonales, hexagonales y trigonales tienen un solo eje óptico y se les denomina *uniaxiales*; los cristales ortorómbicos, monoclínicos y triclínicos poseen dos y se les llama *biaxiales*.

Por tanto cualquier sección de un cristal anisotrópico (excepto las secciones normales a un eje óptico) tiene dos direcciones de vibración, correspondientes a diferentes índices de refracción, a lo largo de las cuales la luz que penetra con incidencia normal queda forzada a vibrar. En la mayoría de los casos estas direcciones de vibración son las mismas, o casi las mismas, para todas las longitudes de onda; los índices de refracción asociados con ellos varían, naturalmente, con la longitud de onda.

A los índices de refracción máximo y mínimo de un cristal para una longitud de onda particular, y en el caso de los cristales biaxiales, junto con el índice de refracción de la luz en la dirección de un eje óptico, se les denomina *índices de refracción principales* y son constantes e importantes características ópticas de la substancia. En los cristales uniaxiales, uno de estos índices (ω) es el mismo para todas las direcciones de propagación, y este otro (ε) es el que discrepa más de aquel. En los cristales biaxiales los índices máximo y mínimo se denotan por γ y α respectivamente, en tanto que para la luz que se propaga a lo largo de un eje óptico se le denota por β.

Los instrumentos que precisan para la mayoría de los trabajos cristalográficos son muy simples y el equipo que muestra la figura 2 es suficiente para todos los problemas usuales. El instrumento esencial, el microscopio polarizador, es un microscopio compuesto, provisto de un porta-objetos

rotativo y dos nicoles (o en algunos modelos británicos y americanos con placas « Polaroid »[1]). El primer nicol (*polarizador*) está fijado debajo del porta-objetos y el segundo nicol (*analizador*) en una posición sobre el objetivo. Cuando ambos nicoles están en la posición « cruzada », los cristales del sistema cúbico pueden distinguirse inmediatamente de los anisotrópicos, pues los primeros permanecen tan oscuros como el resto del campo en todas las posiciones, en tanto que los últimos en muchas posiciones muestran *colores de polarización* (empleando luz blanca); pero se oscurecen a intervalos de 90° por rotación del porta-objetos. La razón para este fenómeno es que el material isotrópico no tiene efecto alguno sobre la dirección de vibración de la luz después del polarizador, pero los cristales anisotrópicos desdoblan la luz en dos haces, un haz « rápido » y otro « lento », los componentes de los cuales interfieren en el analizador. Sólo una parte del espectro emerge en fase y así la luz aparece coloreada. Al girar el porta-objetos las direcciones de vibración del cristal pasan a ser paralelas a las de los nicoles cada 90° y la luz se extingue debido a que en estas posiciones el cristal no afecta la dirección de vibración de la luz del polarizador (véase figura 1). Los estudios de los efectos de los compensadores (cuñas de cristal y placas de orientación óptica y bi-refringencia conocidas — véase figura 2) sobre los colores de polarización producidos por una sección de un cristal permiten hallar las direcciones de sus vibraciones « rápida » y « lenta ».

Iluminando un cristal colocado entre dos nicoles cruzados con un poderoso haz convergente y reuniendo en un foco los rayos que lo han atravesado en direcciones paralelas, se obtiene una *figura de interferencia*. Esta consiste en general en una muestra de colores de polarización y bandas oscuras. El estudio de las muestras características producidas por ciertas secciones de un cristal revela si éste es uniaxial o biaxial, y en este último caso permite medir el ángulo entre los ejes ópticos. Es también un medio importante para determinar la orientación de las direcciones principales de vibración (esto es, aquellas asociadas con los índices principales) respecto de la forma externa del cristal.

Los índices de refracción se determinan con el microscopio polarizador aprove-chándose del hecho de que cuando un cristal está sumergido en un líquido del mismo índice de refracción, el límite cristal/líquido desaparece. Así, solamente es necesario fijar porciones del material a estudiar en una sucesión de líquidos conocidos hasta hallar uno en el cual el límite entre ambos desaparece. La investigación queda favorecida por el hecho que cuanto mayor es la diferencia entre los índices del cristal y del líquido tanto más acusado es el relieve en que aquel aparece, así como por las observaciones de la llamada línea de Becke. Esta consiste en una línea brillante que aparece bajo condiciones favorables de iluminación, justamente en la cara interior del medio de índice mayor y

[1] Los microscopios son manufacturados por la casa Cooke, Troughton & Simms y por Spencer Lens Company. Su precio no es muy elevado, la construcción del microscopio es simplificada y una de sus ventajas es que poseen una gran apertura y que además no se depende del suministro de espato de Islandia de calidad óptica, que no es abundante.

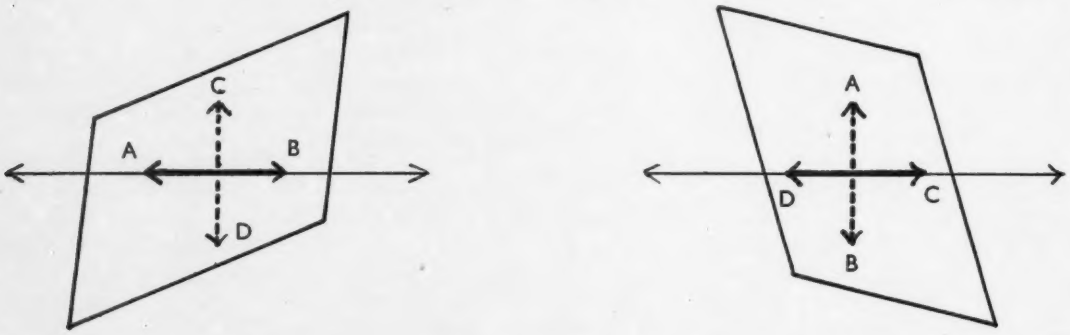


FIGURA 1 – *Separación de los haces transmitidos por la sección de un cristal. En las dos posiciones indicadas el cristal está « en extinción » entre los nicoles cruzados.*

(*a*) *Dirección de vibración AB del cristal paralela a la dirección de vibración de la luz del polarizador; no hay transmisión de luz en vibración paralela a CD.*

(*b*) *El cristal girado a 90°. En esta posición la dirección de vibración CD del cristal es paralela a la dirección de vibración de la luz del polarizador; no hay transmisión de luz en vibración paralela a AB.*

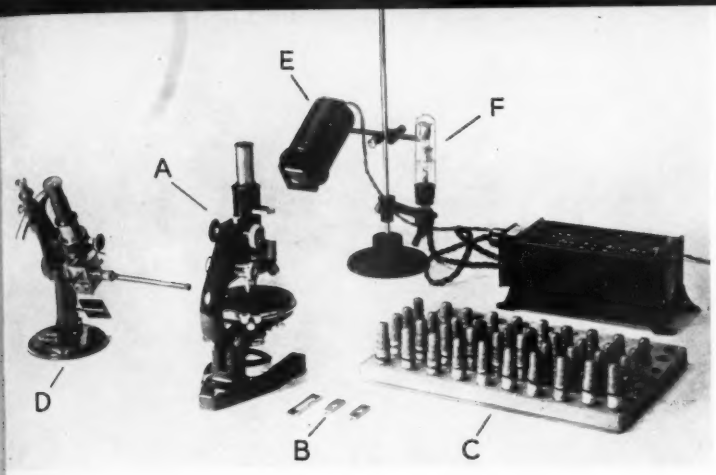
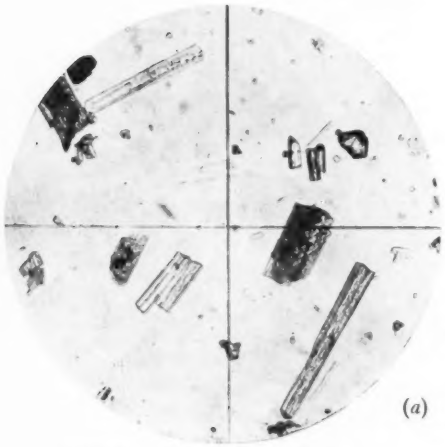


FIGURA 2 – *Equipo necesario para la investigación de las propiedades ópticas cristalográficas.*

A = Microscopio polarizador.
B = Compensadores (cuña de cuarzo, lámina ¼ onda de mica, lámina onda de yeso).
C = Líquidos de inmersión de índice de refracción conocido.
D = Refractómetro de Abbé para comprobación de los valores de C.
E = Fuente de luz blanca.
F = Lámpara de sodio.



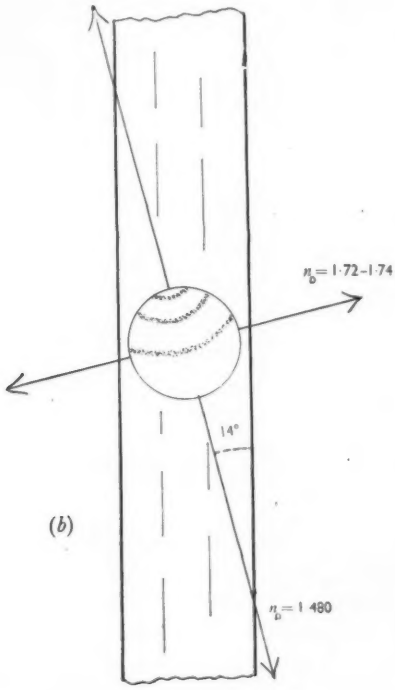


FIGURA 3 – *p-Nitrobromobenceno.*

(a) Dentro de un líquido de un índice 1,494 (D) (× 100), en luz polarizada en vibración paralela al retículo horizontal. Los cristales que yacen paralelos a esta dirección muestran un reducido relieve debido a que el índice para la luz vibrando según su longitud es casi igual a la del líquido. (Véase (b).)
(b) Propiedades ópticas de la sección de los cristales de (a).

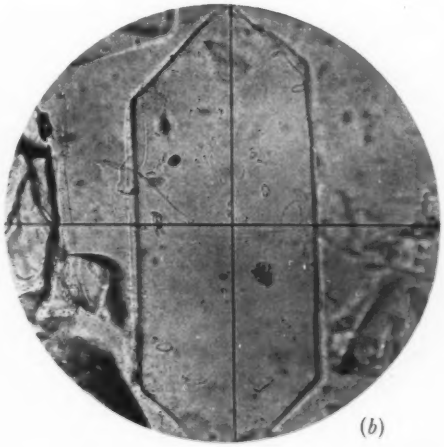
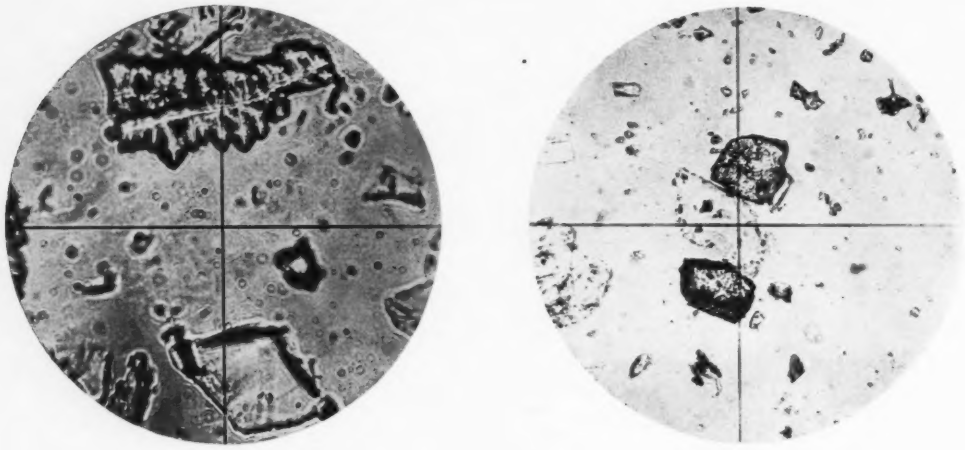


FIGURA 4 – *Cristal de $NH_4H_2PO_4$ en un líquido de índice 1,531 (D) bajo luz polarizada (× 100). Diafragma inferior casi cerrado.*

(a) Luz en vibración vertical, dirección de vibración paralela a ε (1,479, D). Obsérvese el acusado relieve.
(b) Luz en vibración horizontal, dirección de vibración paralela a ω (1,525, D). El cristal y el líquido casi se confunden.
En ambos casos se observa la línea de Becke en la parte exterior del borde del cristal que indica que $n_{líquido} > n_{cristal}$.

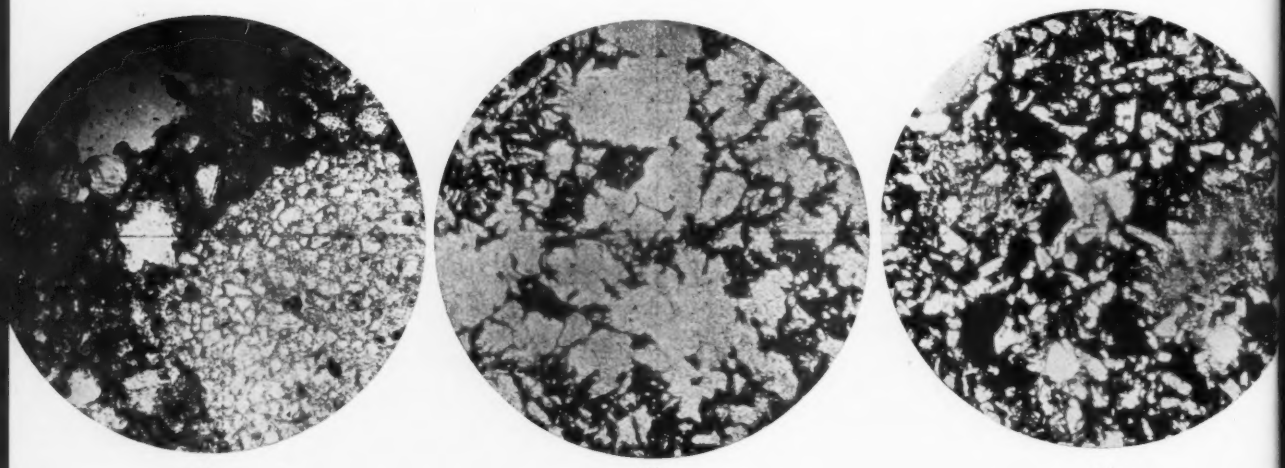


(*a*) (*b*)

FIGURA 5 – *Distinción entre mezclas salinas que poseen iones iguales.*

(*a*) $PbCl_2 + Ba(NO_3)_2$ *en un líquido de índice* 1,633 (× 480). *Diafragma inferior casi cerrado. Cristal dendrítico de* $PbCl_2$ (*bi-refringente,* $n_D = 2{,}199$–$2{,}260$), *en la mitad superior de la figura muestra las líneas de Becke dentro de los bordes del cristal. Cristal grande de* $Ba(NO_3)_2$ (*isotrópico,* $n_D = 1{,}571$) *en la mitad inferior de la figura muestra la línea de Becke en el exterior del borde del cristal.*

(*b*) $Pb(NO_3)_2 + BaCl_2.2H_2O$ *en el mismo líquido* (× 100). *En el centro del campo hay dos grandes cristales de* $Pb(NO_3)_2$ (*isotrópico,* $n_D = 1{,}7815$) *en agudo relieve, y entre ambos hay un cristal de* $BaCl_2.2H_2O$ (*bi-refringente,* $n_D = 1{,}635$–$1{,}660$). *Este último aparece poco destacado, ya que* $n_{líquido} \approx n_{cristal}$.



(*a*) (*b*) (*c*)

FIGURA 6 – *Secciones delgadas de un ladrillo de sílice* (× 50).

(*a*) *Ladrillo ligeramente cocido antes del uso. El área más clara (inferior derecha) es un fragmento de sílice formado de cuarzo inalterado. El resto del material de los intersticios consiste en granos de cuarzo inalterado, con cristobalita y vidrio.*

(*b*) *Después de ser empleado en la bóveda de un horno de hogar abierto. La zona interior consiste de cristobalita (granos blancos en la figura) y magnetita (componente oscuro) provinente de la carga del horno.*

(*c*) *Zona de tridimita del ladrillo anterior. La tridimita (blanca en la figura) aparece como prismas típicos y gemelos cuneiformes, uno de estos algo más allá del centro de la figura.*

que, como prueba más cierta, se mueve más hacia el interior de este medio al subir ligeramente el tubo del microscopio. De este modo los dos índices de una sección bi-refringente pueden compararse separadamente con el del líquido empleando luz polarizada y aislando los dos haces tal como se indica en la figura 1.

La figura 4 muestra la aplicación de este método al bifosfato de amonio, que es una substancia uniaxial que cristaliza generalmente en prismas cuadrados con cabezas piramidales. Estos cristales yacen en sus caras laterales y en tal posición presentan los dos índices principales, ε el de la luz vibrando longitudinalmente respecto del prisma y ω para la dirección transversal.

En tales casos la determinación de los índices principales es cosa sencilla. Sin embargo, ocurre con frecuencia que las caras más prominentes, especialmente con los cristales de simetría baja, las cuales determinan como los cristales yacen en el porta-objetos, no son paralelas a ninguna de las direcciones principales de vibración y así los índices hallados representan valores intermedios.

La figura 3 ilustra un caso de estos: el *p*-nitrobromobenceno cristaliza en general tal como se muestra en (*a*), y casi todos los cristales yacen de manera que presentan sus características ópticas como en (*b*), en que aparece la inclinación de la dirección de vibración respecto del eje mayor del cristal, los índices de refracción (ninguno de estos es un índice principal) y en el círculo central la figura de interferencia. En tanto que la substancia no tome una estructura radicalmente distinta la combinación de tales propiedades ópticas permiten su identificación.

Los siguientes ejemplos son sólo algunos de los muchos que podríamos citar para ilustrar el valor del método óptico, y permiten dar idea de lo varios que son los problemas tratados. El análisis químico cualitativo de una mezcla salina revela meramente los diferentes iones allí presentes. Supongamos, por ejemplo, que se hallan iones de bario, plomo, nitrato y cloruro. Cabe entonces preguntar: ¿consiste la mezcla de $PbCl_2$ y $Ba(NO_3)_2$ o bien $Pb(NO_3)_2$ y $BaCl_2.2H_2O$, o cualquier otra posible variación? Conociendo sus índices de refracción y sabiendo que ambos nitratos son isotrópicos permite decidir la solución en pocos minutos, montando simplemente la mezcla en un líquido que tenga un índice intermedio entre los valores extremos de los de las sales y observar la línea de Becke y el comportamiento entre nicoles cruzados (figura 5).

Hace unos años, el autor tuvo ocasión de examinar unas muestras de yoduro mercúrico-potásico y de bifosfato de amonio, la pureza de las cuales estaba en duda [2]. Bajo el microscopio se vió que el primero contenía cristales incoloros isotrópicos con un índice de refracción ligeramente superior a 1,66. Esto indicaba que la impureza era yoduro potásico que es cúbico y posee un índice de 1,67. Junto con el fosfato uniaxial se hallaron fragmentos que no tenían el valor de ω correspondiente a esta sal y que además daban figuras de interferencia biaxiales. Esto indicaba que la impureza podía ser la sal diamónica biaxial, lo que fué confirmado por el índice β. En ninguno de estos casos se hubiera podido identificar la impureza por medio del análisis químico.

Benedict [3] cita numerosos ejemplos del uso del microscopio polarizador en la Química orgánica. Por ejemplo, en el estudio de la preparación de ciertos amino-ácidos pudo ahorrar mucho tiempo empleando los métodos ópticos de identificación, basados en datos previamente obtenidos por Keenan (véase más abajo), teniendo especialmente en cuenta que los ácidos tienen puntos de fusión indefinidos y no pueden ser caracterizados por este procedimiento. Una gota de la mezcla de reacción podía examinarse rápidamente al microscopio y ver si contenía el compuesto deseado.

Bennett y sus colaboradores emplearon este método como medio de diferenciación entre estereoisómeros orgánicos, un ejemplo interesante de los cuales son los tritioacetaldehidos isómeros [4]. Según la teoría estereoisómera precisan sólo dos isómeros y un supuesto tercer isómero bajo el microscopio polarizador se halló que era una mezcla eutéctica de aquellos dos.

Durante los últimos treinta años y con el fin de evidenciar el valor del método óptico en la Química orgánica y contribuir a los datos publicados, se han emprendido especialmente en América un gran número de estudios ópticocristalográficos de series de compuestos relacionados. Entre los investigadores más prolíficos en este campo se encuentran G. L. Keenan y W. M. D. Bryant. Los estudios de Keenan incluyen azúcares, amino-ácidos y substancias incluídas en la Farmacopea de los E.U. [5]. mientras que Bryant ha estudiado los derivados de los alcoholes, aldehidos y ácidos alifáticos [6] entre otros muchos compuestos. Se ha hallado que, con raras excepciones los compuestos de una misma serie pueden distinguirse fácilmente entre

sí determinando sus índices de refracción o por otra prueba óptica elemental.

El método óptico ha tenido un notable papel, en ocasiones esencial, para la identificación de las fases sólidas en los estudios de equilibrios de fases. Así, en las investigaciones de los sistemas de silicatos a altas temperaturas, tales como las llevadas a cabo algunos años ha en América y la *Building Research Station* en la Gran Bretaña los métodos de análisis térmico son de reducida aplicación por la lentitud con que se alcanza el equilibrio. El método generalmente adoptado consiste en enfriar rápidamente las mezclas y examinar el sólido resultante bajo el microscopio polarizador. Cualquier líquido presente en la mezcla de equilibrio original se solidifica como un vidrio y se le reconoce por su carácter isotrópico. Las fases cristalinas sólidas se identifican por sus propiedades ópticas características. Así se puede establecer el diagrama térmico. El conocimiento de los equilibrios en sistemas de este tipo es de importancia fundamental en las investigaciones petrológicas y en el estudio de los cementos, escorias y refractarios. El ejemplo clásico, que nos ilustra mucho en la constitución del cemento Portland, es el sistema CaO-Al_2O_3-SiO_2 estudiado por Rankin y Wright [7]. y en la misma conexión el sistema cuaternario CaO-$2CaO$, SiO_2-$5CaO$, $3Al_2O_3$-$4CaO$, Al_2O_3, Fe_2O_3 ha sido estudiado por Lea y Parker [8].

Los métodos ópticos tienen un papel importante en el estudio de los ladrillos refractarios y un buen ejemplo son los cambios que experimentan los ladrillos de sílice en el horno de hogar abierto. En un ladrillo ligeramente cocido antes de usarlo la sílice se halla presente como cuarzo principalmente (figura 6(*a*)), que se distingue de otras modificaciones polimórficas de la sílice por su notable doble refracción. Durante su uso la sílice en la zona interna y más caliente del ladrillo se convierte en cristobalita (figura 6(*b*)) que es isotrópica y por ende inmediatamente identificable con los nicoles cruzados. Cercana a esta zona hay otra algo más fría donde la sílice se ha convertido en tridimita (figura 6(*c*)), la cual posee una reducida doble refracción y cristaliza en formas características. Las anchuras de estas zonas muestran el gradiente de temperaturas a que el ladrillo ha sido sometido y esto es un factor importante en la vida del revestimiento del horno.

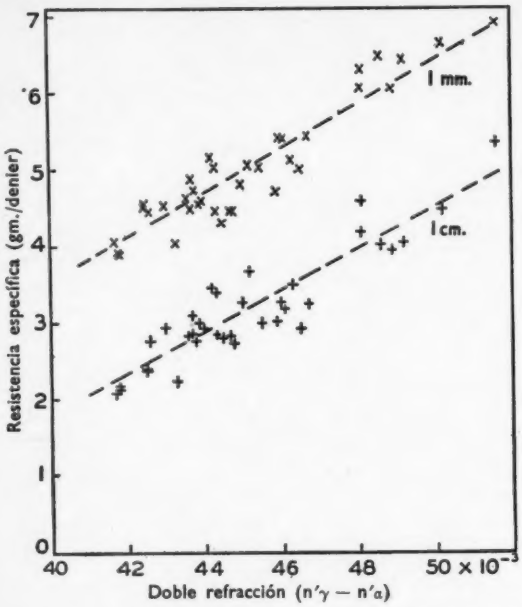


FIGURA 7 – *Relación entre la doble refracción y la resistencia de las fibras de algodón (longitudes de 1 mm. y 1 cm.). (n'γ y n'α son los índices para la luz que vibra respectivamente a lo largo y a través de la fibra.)*

(Reproducido por autorización de la British Cotton Industries Research Association.)

Se han emprendido numerosas investigaciones sobre la relación entre las propiedades ópticas y los índices de refracción de las fibras y sus propiedades físicas. Así ha sido descubierto por la *British Cotton Industry Research Association* [9] que existe un alto grado de correlación entre la bi-refringencia de las fibras de algodón y su resistencia (figura 7).

BIBLIOGRAFIA

[1] BUNN, C. W. *Chemical Crystallography* (Oxford, 1945). CHAMOT, E. M., y MASON, C. W. *A Handbook of Chemical Microscopy, Vol. I* (Wiley, 1938). HARTSHORNE, N. H., y STUART, A. *Crystals and the Polarising Microscope* (Arnold, 1934).

[2] HARTSHORNE, N. H. *J. Soc. Chem. Ind.*, 1933, **52**, 367.

[3] BENEDICT, H. C. *J. Ind. Eng. Chem. (Amal.)*, 1930, **2**, 91.

[4] BELL, E. V., BENNETT, G. M., y MANN, F. G. *J. Chem. Soc.*, 1929, 1462.

[5] KEENAN, G. L. *J. Assoc. Off. Agr. Chem.*, 1944, **27**, 153.

[6] BRYANT, W. M. D., y MITCHELL, Jun. *J. Amer. Chem. Soc.*, 1938, **60**, 2748.

[7] RANKIN, G. A., y WRIGHT, F. E. *Amer. J. Sci.*, 1915, (4), **39**, 1.

[8] LEA, F. M., y PARKER, T. W. *Phil. Trans. Roy. Soc.*, 1934, **234**, No. 231, 1.

[9] MEREDITH, R. *Shirley Institute Memoirs*, 1944–5, **xix**, No. XXIII.

Los principios de la cromatografía

A. J. P. MARTIN

La cromatografía es un método de análisis químico fundado en la adsorción diferencial en un proceso de contra-corriente. Aunque el procedimiento básico de este método se debe al botánico polaco Tswett, quien lo estableció hace más de treinta años, no fué sino en la pasada década que los químicos modernos han reconocido su gran valor y han sacado partido de su enorme eficiencia. El Dr. Martin presenta en este artículo los rasgos más salientes de su técnica práctica y se extiende en consideraciones teóricas.

Desde que Schönbein en 1861 la usó por primera vez en forma de análisis capilar, y más tarde Tswett en 1906 desarrolló ampliamente sus métodos, la cromatografía se ha hecho ya indispensable en el terreno de la investigación y no es aventurado afirmar que su radio de acción alcanzará donde quiera que se trate de la separación de substancias más o menos semejantes. Si bien la cromatografía tiene enormes posibilidades de aplicación, su método queda circunscrito a principios que pueden ser descritos sin acudir a ejemplos específicos. En la siguiente discusión mis ilustraciones se limitan principalmente a la cromatografía de partición, a que me he dedicado, no por ser más importante sino por ser menos conocida.

La cromatografía es un proceso contra-corriente, o en columna. Guarda la misma relación con los simples métodos de separación por adsorción en que el adsorbente es simplemente agitado con la solución, que la ordinaria destilación guarda con los resultados obtenidos en la columna de destilación fraccionada. Del propio modo que la destilación fraccionada es equivalente a millares de destilaciones corrientes, la cromatografía con el ordenado movimiento del líquido hacia el adsorbente, y con el que se mantiene en constante equilibrio, es equivalente a una continua y constante agitación del adsorbente seguida por filtración. En muchos casos la velocidad diferencial de movimiento permite con error infinitamente pequeño llegar a la separación de substancias cuya adsorción es tan semejante que no se puede obtener una útil y adecuada separación con el simple agitado con el adsorbente.

El cromatograma ideal consiste en un tubo en cuyo interior hay una columna de material adsorbente y poroso a través del cual fluye el solvente. La proporción de líquido a sólido es constante en todo el trayecto y la caída del líquido es uniforme. Supongamos ahora que una solución de una substancia adecuada se hace pasar a través de la columna, en lugar de un solvente puro. Si en una delgada sección de la columna la proporción de la substancia disuelta en el solvente es α, entonces una cantidad $1 - \alpha$ es adsorbida en el material poroso. En este caso ideal el equilibrio entre sólido y líquido es instantáneo y no tiene lugar ninguna difusión. Es evidente, pues, que si una porción α se mueve con la velocidad del líquido y una porción $1 - \alpha$ permanece estacionaria, la velocidad neta de la substancia disuelta es α veces la velocidad del movimiento del líquido. La razón de las velocidades de la substancia disuelta y del solvente se la representa por el símbolo R_F. Este caso ideal queda puesto de manifiesto en la figura 1 y fué interpretado por Wilson [1].

Desde luego el equilibrio no se alcanza de hecho instantáneamente. La substancia disuelta debe pasar de líquido a sólido y viceversa, y ello tiene consecuencias prácticas muy importantes. Para un rápido equilibrio hay que procurar que la distancia a través de la cual la difusión debe llevar la substancia disuelta, sea la más corta posible. Es desde luego siempre una grande equivocación no emplear un adsorbente finamente granulado. La figura 2 muestra cómo la faja de la substancia disuelta pierde sus bien delineados bordes cuando el equilibrio no es instantáneo. La faja se acerca más y más a la «curva de error» a medida que dicha banda desciende en la columna [2].

Hemos supuesto que la razón de la concentración de la substancia disuelta en el líquido y en el adsorbente en equilibrio es una constante, es decir que la isotérmica de adsorción es lineal. De ordinario no es precisamente esto lo que ocurre. Generalmente la proporción de substancia disuelta en la fase líquida crece con la concentración (isotérmica de adsorción de Freundlich o Langmuir). Las figuras 3 y 4 muestran los aspectos resultantes de las fajas. El valor R_F crece con la

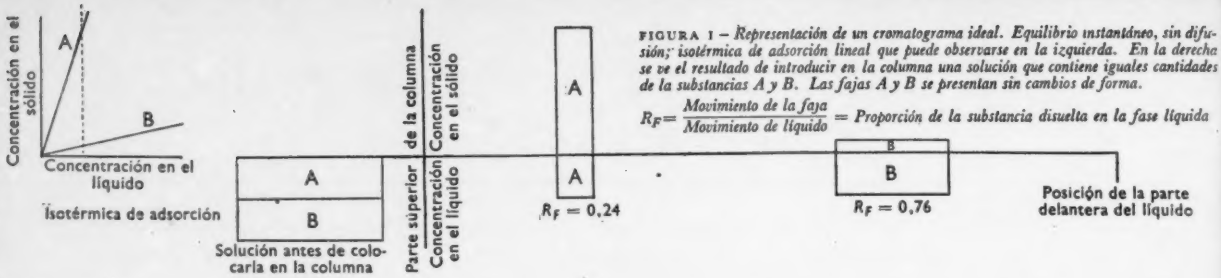


FIGURA 1 – *Representación de un cromatograma ideal. Equilibrio instantáneo, sin difusión; isotérmica de adsorción lineal que puede observarse en la izquierda. En la derecha se ve el resultado de introducir en la columna una solución que contiene iguales cantidades de la substancias A y B. Las fajas A y B se presentan sin cambios de forma.*

$$R_F = \frac{\text{Movimiento de la faja}}{\text{Movimiento de líquido}} = \text{Proporción de la substancia disuelta en la fase líquida}$$

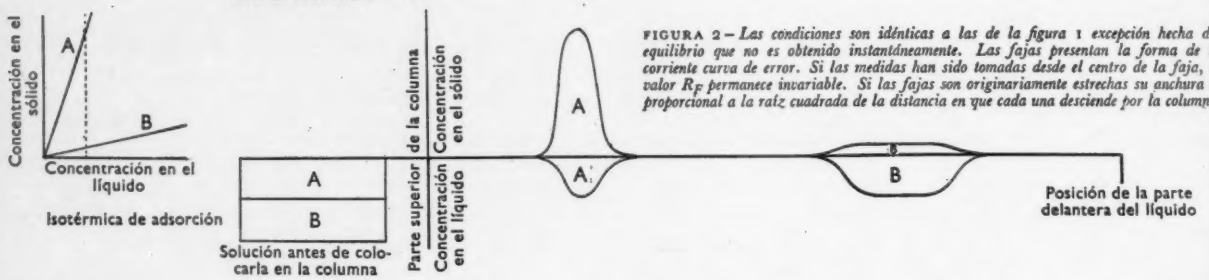


FIGURA 2 – *Las condiciones son idénticas a las de la figura 1 excepción hecha del equilibrio que no es obtenido instantáneamente. Las fajas presentan la forma de la corriente curva de error. Si las medidas han sido tomadas desde el centro de la faja, el valor R_F permanece invariable. Si las fajas son originariamente estrechas su anchura es proporcional a la raíz cuadrada de la distancia en que cada una desciende por la columna.*

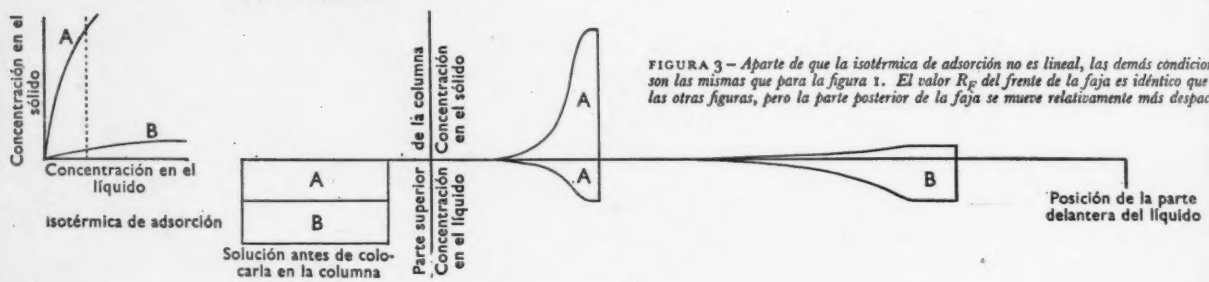


FIGURA 3 – *Aparte de que la isotérmica de adsorción no es lineal, las demás condiciones son las mismas que para la figura 1. El valor R_F del frente de la faja es idéntico que en las otras figuras, pero la parte posterior de la faja se mueve relativamente más despacio.*

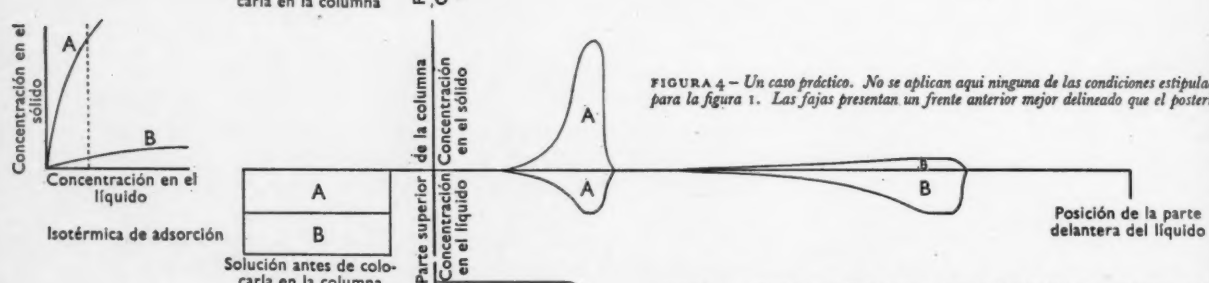


FIGURA 4 – *Un caso práctico. No se aplican aquí ninguna de las condiciones estipuladas para la figura 1. Las fajas presentan un frente anterior mejor delineado que el posterior.*

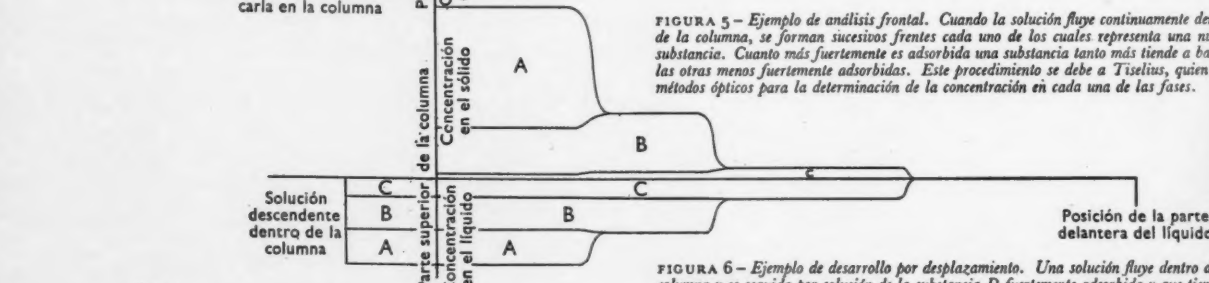


FIGURA 5 – *Ejemplo de análisis frontal. Cuando la solución fluye continuamente dentro de la columna, se forman sucesivos frentes cada uno de los cuales representa una nueva substancia. Cuanto más fuertemente es adsorbida una substancia tanto más tiende a barrer las otras menos fuertemente adsorbidas. Este procedimiento se debe a Tiselius, quien usó métodos ópticos para la determinación de la concentración en cada una de las fases.*

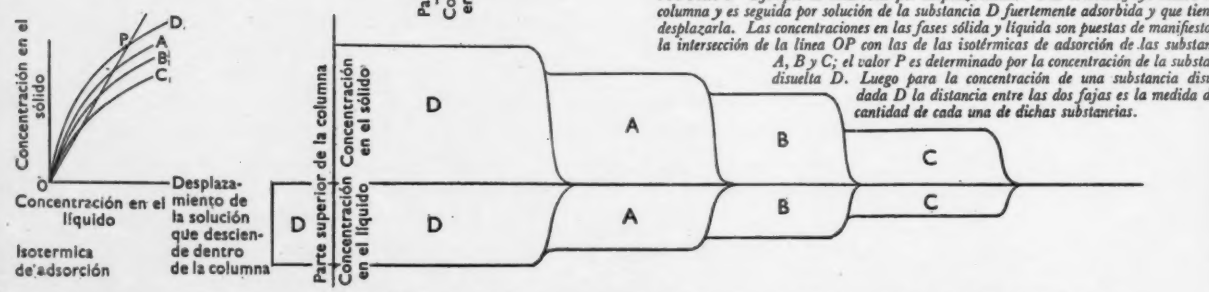


FIGURA 6 – *Ejemplo de desarrollo por desplazamiento. Una solución fluye dentro de la columna y es seguida por solución de la substancia D fuertemente adsorbida y que tiende a desplazarla. Las concentraciones en las fases sólida y líquida son puestas de manifiesto por la intersección de la línea OP con las de las isotérmicas de adsorción de las substancias A, B y C; el valor P es determinado por la concentración de la substancia disuelta D. Luego para la concentración de una substancia disuelta dada D la distancia entre las dos fajas es la medida de la cantidad de cada una de dichas substancias.*

FIGURAS 1 – 6 – *Ejemplos típicos de adsorción cromatográfica. Para una explicación más detallada véase el texto.*

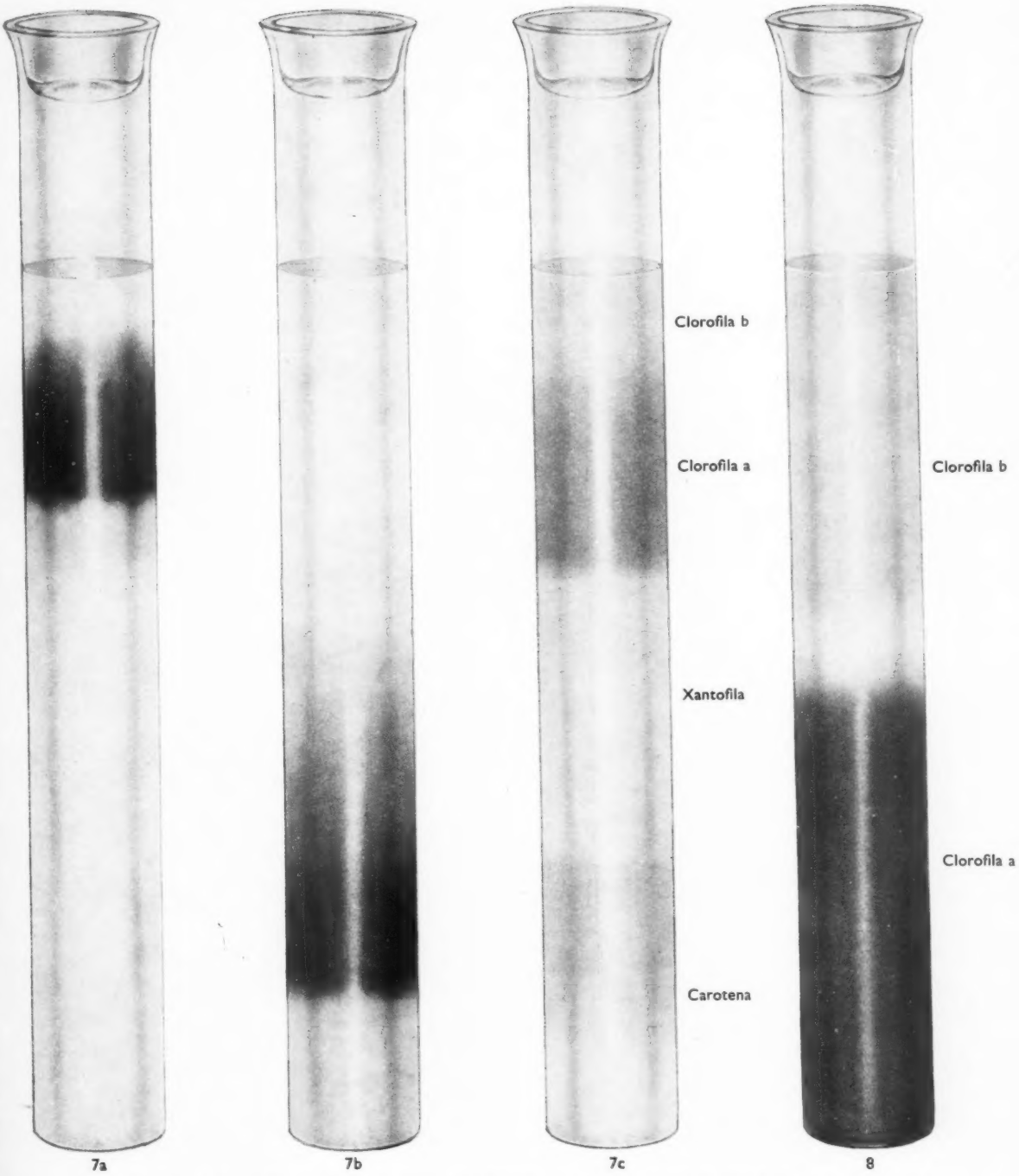


FIGURA 7 – *Fases en el desarrollo de un cromatograma de adsorción cuando un extracto de césped en ciclohexano pasa a través de una columna de almidón.*

(*a*) *Principio del desarrollo. Substancias incoloras desplazan la clorofila y la carotena.* $R_F = 1$, *no se ve resolución alguna.*

(*b*) *Gran parte del material incoloro ha sido adsorbido y la faja de carotena aparece delante de la clorofila.* $R_F < 1$.

(*c*) *Las fajas coloreadas han sido separadas y los pigmentos extraídos de nuevo en ciclohexano; la solución resultante ha pasado a través de una nueva columna. El desarrollo por elución manifiesta fajas de clorofila, xantofila y carotena* (*pág.* 27).

FIGURA 8 – *Lo mismo que la figura* 7 (*c*) *con la diferencia que en el desarrollo el ciclohexano ha sido substituído por el benceno.*

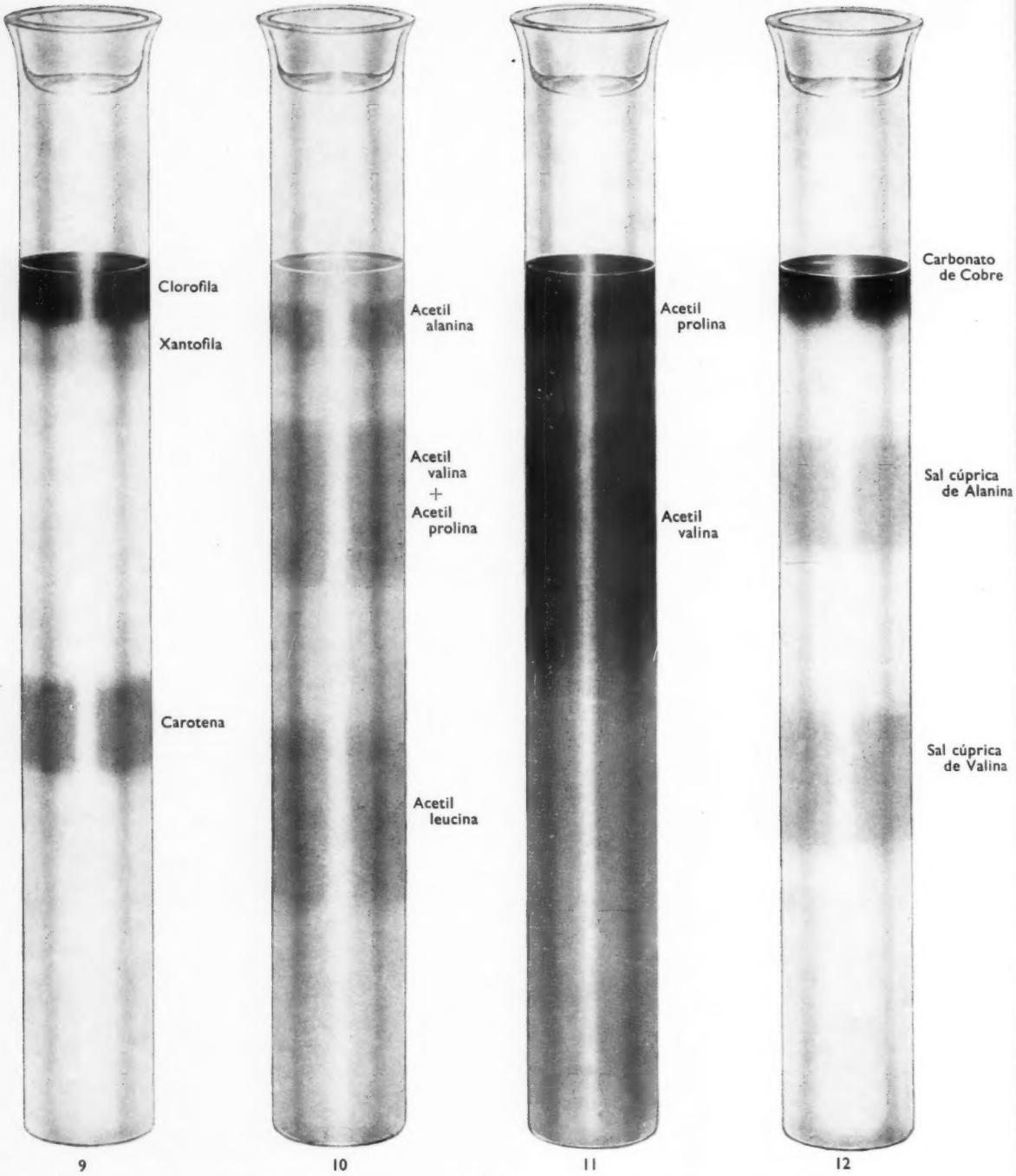


FIGURA 9 – *Solución como la que produjo el cromatograma de la figura 7 ha pasado a través de una columna de óxido de magnesio. La clorofila es fuertemente retenida. El desarrollo por elución revela la presencia de fajas de xantofila y carotena.*

FIGURA 10 – *Cromatograma de partición presentando fajas de acetil alanina, acetil valina, acetil prolina y acetil leucina en una columna de gelatina de sílice. Esta gelatina ha sido preparada con anaranjado de metilo como indicador y el color rojo indica la posición de los acetil amino-ácidos. El solvente es el cloroformo conteniendo 1% de butanol.*

FIGURA 11 – *Separación del acetil prolina y acetil valina en una columna de gelatina de sílice usando un indicador especial. El solvente es ciclohexano. Con una columna del tipo de la de las figuras 10 y 11 es posible determinar las cantidades de alanina, leucina e isoleucina, fenil alanina, tirosina y metionina en hidrolizato de 20 mg. de proteína.*

FIGURA 12 – *Separación de las sales de cobre de alanina y valina en una columna de gelatina de sílice. El cromatograma de partición se ha desarrollado mediante una mezcla de cloroformo y butanol.*

Cromatograma de partición en tiras de papel de filtro. Se echa una gota de una solución de amino-ácido en uno de los extremos de la tira. La tira se suspende de un cristal en una atmósfera saturada de agua y de solvente. El solvente asimismo saturado de agua, actúa como un sifón a todo lo largo de la tira. Despues de 4 a 48 horas, la tira seca ya, se le calienta después de pulverizada con una solución de ninhidrina. El reagente pone de manifiesto la posición de los amino-ácidos.

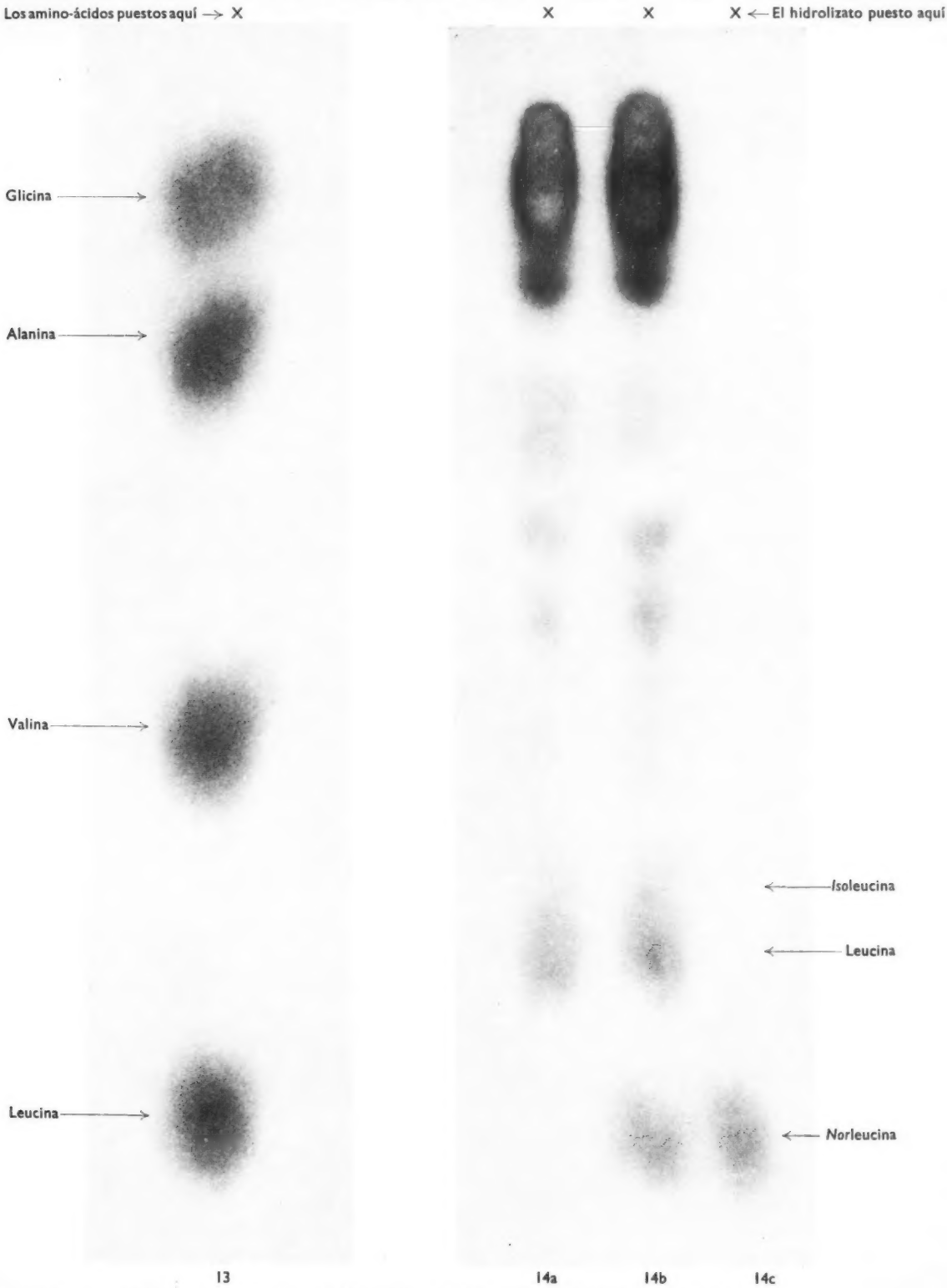


FIGURA 13 – *Separación de la glicina, alanina, valina y leucina usando el butanol como solvente.*

FIGURA 14 – *Cromatograma obtenido con un hidrolizato de la médula espinal, (a) sin adición y (b) con adición de una* norleucina *sintética. En un experimento de control (c) se ha usado solamente* norleucina. *Estos cromatogramas ponen de manifiesto que contra todas las opiniones sostenidas hasta el presente, la* norleucina *no se encuentra en la médula espinal.*

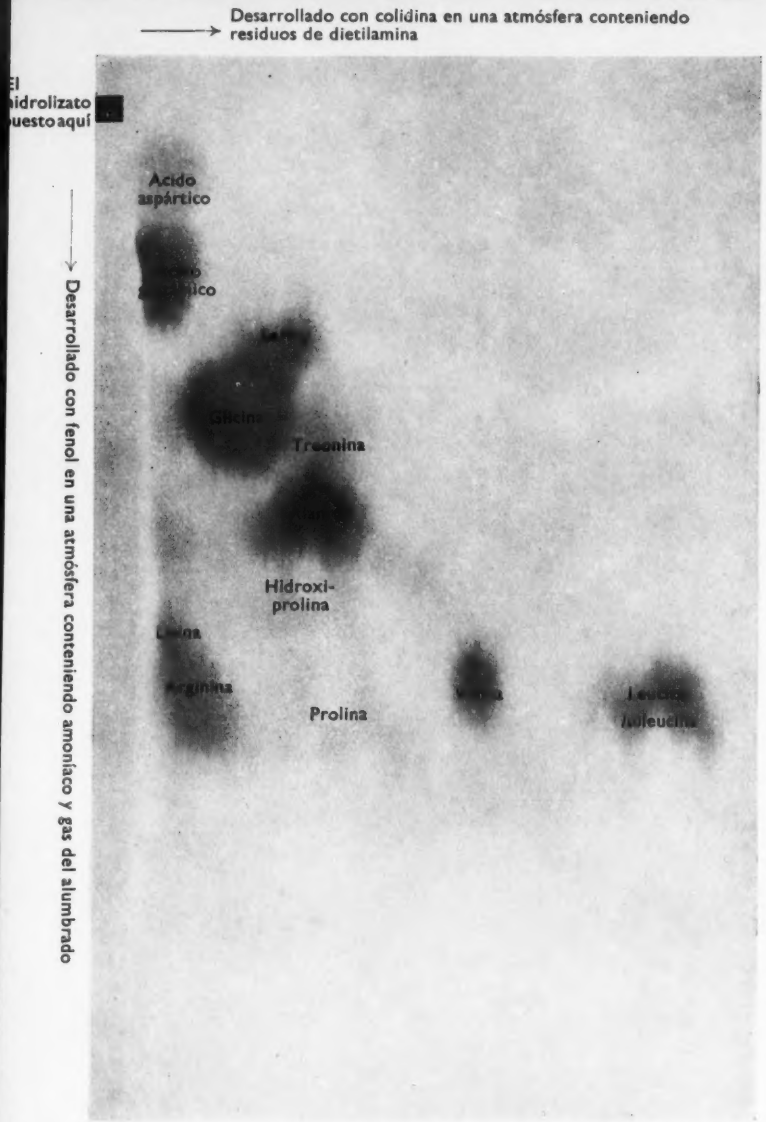


FIGURA 15 – *Cromatograma de dos dimensiones. Una gota de hidrolizato se echa cerca de una de las puntas de una hoja de papel. Se le suspende por su parte más larga y se desarrolla un cromatograma con s-colidina. Después de seco el papel se le suspende de su lado estrecho y se desarrolla un cromatograma con fenol. Se le deja secar de nuevo y se le calienta después de pulverizado con ninhidrina. Pequeñas cantidades como de 1 a 2 mg. de la mayoría de los*

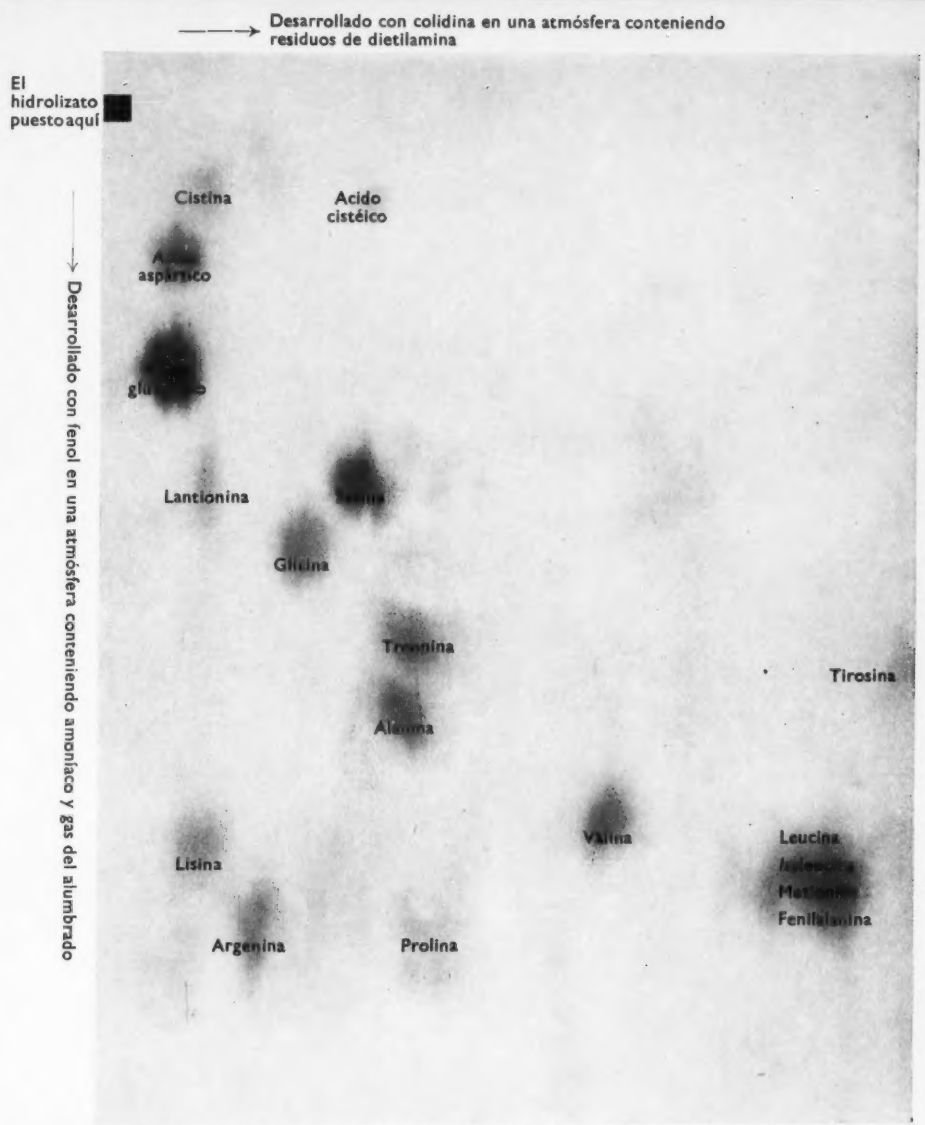


FIGURA 16 – *Cromatograma de dos dimensiones de fibras de lana. El procedimiento como para la figura 15. La exposición a la luz y al aire libre ha convertido parte de cistina en ácido cistéico y parte en lantionina. El resultado tiene un gran parecido con la lana pura. La porción de amino-ácido que se encuentra en el lado derecho de la parte inferior del papel puede ser separada si usamos bencil alcohol y butanol en lugar de colidina y fenol pero entonces resulta un amontonamiento de los demás ácidos.*

ninhidrina. Pequeñas cantidades como de 1 a 2 mg. de la mayoría de los

namiento de los demás ácidos.

concentración; por tanto el frente anterior se mueve más rápidamente que el posterior y da como resultado el ensanchamiento de la faja. El frente anterior permanece relativamente bien delineado (figura 4) ya que la capa de disminución de concentración originada por la difusión y lento equilibrio es continuamente «sobrepasada» por la zona posterior más concentrada y más rápida en su movimiento. Este caso lo ilustra la figura 3; fué explicado por De Vault [3] y Weiss [4].

Se nos presenta, con todo, una nueva complicación. La adsorción de una substancia puede modificar enormemente la adsorción de otra. Este es precisamente el caso cuando las isotérmicas son del tipo Freundlich o Langmuir. La figura 5 nos manifiesta el resultado de un gran volumen de solución de tres substancias que desciende por la columna y sin «revelar» el cromatograma, es decir, separar las fajas con el solvente puro. Si una adsorción no estuviese modificada por otra, las fases de concentración serían las mismas que en la solución de origen.

Si una mezcla de soluciones a través de la columna, como es el caso de la figura 5, es reemplazada por una solución de otra substancia más fuertemente adsorbible (*D*), entonces ocurre lo que aparece en la figura 6 ya que cada substancia barre la otra que se encuentra delante de ella. Es interesante el hecho de que las fajas *A*, *B* y *C* que representan una fase estable descienden por la columna sin cambiar de forma.

METODOS DE CROMATOGRAFIA

Las figuras 4, 5 y 6 representan tres procedimientos distintos en los que pueden emplearse los cromatogramas. El método de la figura 4 (desarrollo por levigación) es el más conocido en los laboratorios. Después de un desarrollo adecuado la columna es cortada y el adsorbente es extraído mediante el adecuado solvente, o se continúa el desarrollo hasta que las fajas corran separadamente en el solvente desde el fondo de la columna. Este último método de trabajo se ha llamado equivocadamente «cromatografía líquida». Usando este procedimiento se hace indispensable una isotérmica de adsorción lineal ya que de otro modo cada faja tendería a solapar la que sigue.

El método de la figura 5, muchas veces no reconocido en absoluto como cromatografía, ha tenido vasta aplicación en la industria para el tratamiento de las aguas «duras», recuperación de valiosos iones en los residuos industriales y para la recuperación del solvente en el aire y otros gases. Es digno de notarse que esta recuperación del solvente es hoy en día el único caso en que se emplea el gas como flúido móvil en la cromatografía, aun cuando no haya una razón plausible por la que no pueda ser utilizado este interesante método para finalidades analíticas. Recientemente Tiselius aplicó este procedimiento en el análisis, transformando el llamado por él «análisis frontal» en un poderoso instrumento de investigación de substancias tan difíciles de manipular como los amino-ácidos y los péptidos. Aplicando los procedimientos ópticos desarrollados para investigaciones de electroforesis y ultra-centrífugas en los líquidos procedentes de un cromatograma se obtiene un máximum en los puntos donde cambia la concentración. La figura 5, pues, nos presenta tres máximas.

Tiselius ha dado forma al método de «desarrollo por desplazamiento» (figura 6) registrando por medio de un interferómetro automático la concentración del líquido proveniente de la columna, haciendo posible la obtención de datos en una serie de fases, la longitud de columna de las cuales es la medida de la cantidad de cada substancia presente, mientras que la altura es función de la isotérmica de adsorción.

A diferencia del método de desarrollo por «elución» es una ventaja en los métodos anteriores el empleo de una isotérmica de adsorción no linear, ya que los frentes permanecen mejor delineados y por tanto de mucho más fácil observación.

ADSORBENTES Y SOLVENTES

Alúmina y otros óxidos metálicos. La selección de adsorbentes y solventes ha sido hasta el presente exclusivamente empírica. El adsorbente más comunmente empleado en los laboratorios es la alúmina con un solvente no polar como la gasolina. Varios óxidos y sales metálicas se comportan más o menos de un modo parecido. El método de preparación del adsorbente es punto tanto o más importante que su propia composición química. Los grupos polares y polarizables en la substancia disuelta son un factor importante en la determinación del comportamiento de la adsorción en esta clase de adsorbentes y de modo parecido la elución es afectada por solventes polares o polarizables. Si un solvente tiene afinidades con el hidrógeno, es de ordinario un buen agente de elución. Estos adsorbentes difieren mucho en fuerza pero poco en selectividad; el orden de las fajas de distintas substancias difiere raras veces en los varios adsorbentes de esta clase.

Carbón. Si bien el carbón ha sido empleado

desde hace tiempo en la descoloración de soluciones y recuperación de solventes, no es sino muy reciente su utilización en la cromatografía analítica. Las isotérmicas de adsorsión en el carbón no son ni con mucho lineares y ello resulta más ventajoso en el análisis frontal y en el desarrollo por desplazamiento (véase arriba). Parece como si hubiera muchas clases de puntos de adsorción, y diferentes métodos de activación nos permiten obtener carbones de una amplia selectividad adsortiva. Puede decirse que en general las cadenas grasas y especialmente los anillos aromáticos determinan la adsorción en el carbón mientras que las agrupaciones polares son menos importantes. Y así por ejemplo la adsorción de los amino-ácidos tiene lugar en soluciones acuosas y pueden ser levigadas mediante el fenol o la efedrina. Con objeto de evitar adsorciones irreversibles u oxidaciones catalíticas se hace indispensable un carbón convenientemente preparado de antemano.

Productores del intercambio iónico. Los materiales que lo producen, desde hace mucho tiempo han sido empleados en el tratamiento de las aguas duras pero sólo recientemente se los emplea en grande escala en la cromatografía analítica. Se trata esencialmente de ácidos insolubles o bases que forman sales insolubles. Las primeras substancias empleadas fueron los zeolitos, que si bien inestables en solución ácida, se les empleó para el cambio del Na^+ por otros cationes. Adams y Holmes demostraron que ciertas resinas sintéticas poseen propiedades productoras de este cambio iónico. Carbones sulfonatados o resinas que contienen grupos de ácido sulfónico están en uso corriente hoy en día y mediante ellos se consigue el cambio de los iones H^+ por otros iones. También existen resinas básicas capaces de producir el cambio de aniones. Con estos adsorbentes las moléculas adsorbidas son retenidas por fuerzas electroestáticas de manera que no es la estructura molecular sino la carga el principio determinante de la adsorción. La elución se efectúa por soluciones salinas, ácidas o alcalinas.

CROMATOGRAMAS DE PARTICION

Martin y Synge [2] han introducido el uso de la gelatina de sílice como adsorbente en el análisis cromatográfico. Este sílice absorbe una cantidad de agua como de la mitad de su peso para formar la gelatina y sin que aparezca mojado. De esta manera mediante un sílice saturado puede obtenerse un cromatograma empleando como solvente, cualquiera que reuna la condición de ser inmiscible, o poco menos, en el agua. Con la conveniente selección del solvente no hay adsorción en el sílice mismo sino que el cromatograma depende exclusivamente de la partición entre el solvente y el agua. En este cromatograma de partición el valor R_F derivado del coeficiente de partición y de las cantidades de agua y solvente inmiscible, está de acuerdo con el valor ya observado.

Pueden emplearse otros líquidos en lugar de agua, como también puede reemplazarse el silicato por almidón, celulosa y otras substancias.

BIBLIOGRAFIA

[1] WILSON. *J. Amer. Chem. Soc.*, 1946, **62**, 1583.
[2] MARTIN y SYNGE. *Biochem. J.*, 1941, **35**, 1358.
[3] DE VAULT. *J. Amer. Chem. Soc.*, 1943, **65**, 532.
[4] WEISS. *J. Chem. Soc.*, 1943, 297.

La Sociedad de Química de Londres

Tras un lapso de seis años causado por la guerra, la *Chemical Society* de Londres celebrará el Centenario de su fundación durante los días 15, 16 y 17 de julio de 1947. Entre las diversas ceremonías preparadas para celebrar dicha ocasión destaca la conferencia de la Fundación Faraday, a cargo de Sir Robert Robinson, expresidente de la Sociedad y actual presidente de la *Royal Society*. La celebración del Centenario irá seguida por el XI Congreso Internacional de Química pura y aplicada, que tendrá lugar también en Londres. Han sido invitados para dicha ocasión numerosos y distinguidos delegados extranjeros, por lo que promete ser la más notable reunión de sabios químicos que se haya celebrado jamás.

Los compuestos orgánicos silíceos y su desarrollo industrial

D. V. N. HARDY

Los compuestos organosilíceos han sido estudiados durante más de ochenta años, habiendo contribuído a dichos estudios con grandes progresos el Profesor F. S. Kipping; pero sólo hacia el final de la pasada guerra se comenzó a hacer mención de su desarrollo comercial. Debido a la dificultad de obtener las necesarias materias primas y al secreto impuesto tanto por consideraciones militares como comerciales, ha sido muy difícil obtener información precisa sobre los nuevos materiales y su composición.

Aunque estudiada inicialmente por una serie de investigadores continentales, notablemente Friedel y sus discípulos Crafts y Ladenburg, la química de los compuestos organosilíceos irá siempre asociada al nombre de F. S. Kipping y de su escuela de investigadores en la Universidad de Nottingham. Desde 1899, Kipping continuó sus investigaciones durante casi cuarenta años, publicando más de cincuenta estudios en el *Journal of the Chemical Society*. El trabajo era arduo y lleno de dificultades experimentales, entre las que no era la menor la curiosa tendencia de los compuestos a formar productos amorfos y gomosos; pero con gran paciencia y perseverancia Kipping continuó coleccionando una gran cantidad de datos precisos y detallados cuya exactitud ha quedado comprobada múltiples veces.

El estudio académico de los compuestos organosilíceos siguió las líneas establecidas: consistía principalmente en la preparación y caracterización de los diversos compuestos y en la determinación de sus propiedades químicas, insistiéndose en especial en el interés teórico de la semejanza entre los compuestos organosilíceos y sus análogos carbónicos, semejanza que resultó ser muy ligera, ya que la posibilidad de combinación consigo mismo y con otros elementos que posee el carbono, y la fácil y sutil variedad de reacciones orgánicas de éste no se da en la química organosilícea. Es de gran importancia entre los compuestos silíceos la notable tendencia a formar grandes moléculas que contienen cadenas, anillos y redes de átomos alternos de oxígeno y silicio; el ácido silícico y los polisilicatos están formados de dicha manera, lo mismo que otros muchos compuestos organosilíceos oxigenados.

Los métodos para la preparación de dichos compuestos son muy escasos, consistiendo principalmente en el tratamiento de un hálido silícico o de un silicato alquil con un compuesto organometálico o su equivalente. Friedel y Crafts [1] usaron el tetracloruro silícico y los alquiles de zinc:

$$SiCl_4 + 2Zn\,(C_2H_5)_2 \longrightarrow Si(C_2H_5)_4 + 2ZnCl_2$$

y Ladenburg [2] probó no sólo que el ortosilicato etil puede ser empleado en lugar del tetracloruro silícico sino también que los arilclorosilanos pueden prepararse con diariles de mercurio:

$$2SiCl_4 + Hg(C_6H_5)_2 \longrightarrow 2C_6H_5SiCl_3 + HgCl_2$$

Los arilsilanos son asimismo obtenibles por la interacción del tetracloruro silícico, un hálido aril y sodio [3]:

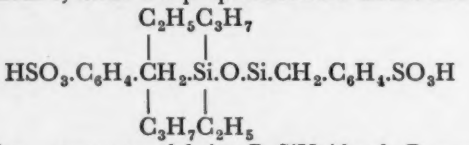
$$4C_6H_5Cl + SiCl_4 + 8Na \longrightarrow (C_6H_5)_4Si + 8NaCl$$

Una valiosa extensión fué introducida por Kipping con el uso de los reagentes de Grignard con toda su versatilidad. Todos estos métodos sintéticos permiten la introducción de uno a cuatro radicales orgánicos univalentes, bien en una sola operación en la que se controlan las relativas proporciones de los reagentes, o bien con el sucesivo tratamiento de los compuestos intermedios orgánicos purificados con el mismo o diferente reagente:

$$SiCl_4 + CH_3MgBr \longrightarrow CH_3SiCl_3$$
$$CH_3SiCl_3 + C_2H_5MgBr \longrightarrow C_2H_5(CH_3)SiCl_2$$
$$C_2H_5(CH_3)SiCl_2 + C_3H_7MgBr \longrightarrow C_3H_7(C_2H_5)(CH_3)SiCl$$
$$C_3H_7(C_2H_5)(CH_3)SiCl_2 + C_6H_5MgBr \longrightarrow C_3H_7(C_2H_5)Si(CH_3)C_6H_5$$

Una inmediata consecuencia es que dicha reacción no puede confinarse a un estadio intermedio, de modo que no sólo pueden obtenerse mediocres resultados, sino también resultar difícil la separación por medio de la destilación fraccionada. El objetivo inicial de Kipping era averiguar si el silicio se asemeja al carbono en su

distribución equiespacial de las cuatro valencias; y siguiendo el método descrito preparó varios compuestos asimétricos y sus sales con bases activas ópticamente, pero no pudo llegar a ningún compuesto que contuviese un átomo único de silicio. Pudo, sin embargo, obtener [4] los antípodas ópticos de compuestos como 1, 2-dibencil-1, 2-dietil-1, ácido 2-dipropildisiloxano-disulfónico[1]:



Los compuestos del tipo R_3SiX (donde R es un radical monovalente hidrocarbono y X un átomo halógeno o un grupo alcoxil) se hidrolizan rápidamente a los correspondientes silanoles; son por lo comun aceites de alta temperatura de ebullición, o sólidos cristalinos que se pueden deshidratar a disiloxanos. Por ejemplo, el trietilclorosilano da trietilsilanol (p.e. 184° C), con un aroma como el del alcanfor, y hexaetildisiloxano (p.e. 231° C.):

$$(C_2H_5)_3SiCl + H_2O \longrightarrow (C_2H_5)_3SiOH$$
$$\longrightarrow (C_2H_5)_3Si.O.Si(C_2H_5)_3$$

Tales estructuras no admiten un alto grado de complejidad, pero tenemos el caso opuesto en los productos por medio de la hidrolización de compuestos del tipo R_2SiX_2. Si llevamos a cabo la hidrólisis es posible aislar los silandioles simples:

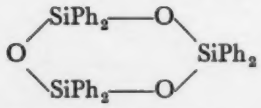
$$(C_2H_5)_2SiCl_2 + 2H_2O \longrightarrow (C_2H_5)_2Si(OH)_2$$

los cuales son muy susceptibles de sufrir deshidratación, derivándose productos de mayor complicación, tales como el járabe de gran peso molecular obtenido por Martin y Kipping [5] a base del dietildiclorosilano. Dicho járabe pudo ser destilado sin descomponerse bajo 300° C., y poseía la formula empírica $C_4H_{10}SiO$. Del difenildiclorosilano Kipping [6] pudo aislar el simple difenilsilandiol, y productos de condensación cíclicos y lineales de las fórmulas siguientes:

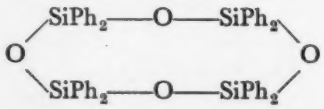
$HO.SiPh_2.O.SiPh_2.OH$
Tetrafenildisiloxandiol (p.f. 113° C.)

$HO.SiPh_2.O.SiPh_2.O.SiPh_2.OH$
Hexafeniltrisiloxandiol (p.f. 112° C.)

$HO.SiPh_2.O.SiPh_2.O.SiPh_2.O.SiPh_2.OH$
Octafeniltetrasiloxandiol (p.f. 128,5° C.)



Hexafenilciclotrisiloxano
(p.f. 188° C.)

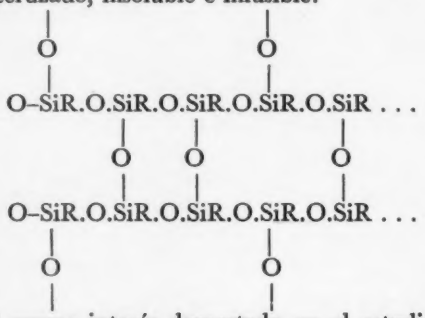


Octafenilciclotetrasiloxano
(p.f. 201° C.)

Otros compuestos aun más complejos con cadenas y anillos más extensos deben ser la explicación del aspecto gomoso de los productos que forman con gran rapidez los compuestos simples cuando se los calienta. Los intermediarios del tipo $RSiX_3$ se convierten por hidrolización en organosiloxanoles:

$$R.SiX_3 + 2H_2O = R.SiO.OH + 3HX$$

Son por regla general polvos amorfos o sólidos duros y quebradizos, sin punto de fusión definido muchos de ellos, y otros totalmente infusibles; consisten de productos de condensación de vario grado de complejidad, derivados de los hipotéticos organosilantrioles ($RSi(OH)_3$), y pueden ser lineales, cíclicos o entrecruzados, siendo siempre el producto final del proceso de deshidratación entrecruzado, insoluble e infusible:



El nuevo interés despertado en el estudio de estos compuestos se deriva del intenso desarrollo comercial de los altos polímeros. Tenemos aquí una clase de materiales altamente condensados que poseen una estabilidad termal mayor que la de los productos plásticos corrientes. Su estructura básica de repetidos grupos siloxánicos, análoga a la de los silicatos, sugiere la posibilidad de ser buenos aisladores eléctricos, lo que parece haber sido investigado por los científicos rusos, ya que en 1932 Dolgov [7] publicó una revisión de otros trabajos anteriores sobre los compuestos organosilíceos, y en 1935 Shtetter [9] patentó la produc-

[1] Adaptación en castellano de la nomenclatura establecida por R. O. Sauer [8].

ción de clorosilanos de substitución derivados del tetracloruro silícico y de los más simples hidrocarburos no saturados, tales como el acetileno y el etileno. Años más tarde se publicaron otros estudios por Adrianov [10] y Kotow [11] sobre los productos de condensación del alquil- y arilsiloxanoles (R.SiO.OH) y su aplicación como resinas de endurecimiento térmico. Dichos productos eran demasiado quebradizos para ser utilizados solos, pero mezclados con aceites secantes sirvieron para barnices aislantes muy efectivos.

En los Estados Unidos, las investigaciones sobre estos compuestos han presentado un carácter de gran competencia; había en un principio tres grupos independientes representados por la compañía Corning manufacturera de cristal, el Instituto Mellon y la General Electric Company, pero más adelante los dos primeros y la Westinghouse Electric Corporation se reunieron. El Dr. E. C. Sullivan, jefe de investigación de la Corning Glass Works, descubridor del cristal « Pyrex », se interesaba en la búsqueda de una resina resistente al calor que pudiese usarse para la impregnación de tejidos flexibles de vidrio, usados como aislador eléctrico, y en 1931, el Dr. J. F. Hyde recibió el encargo de utilizar los compuestos organosilíceos para obtener tal resina. En el Instituto Mellon, el Dr. G. R. McGregor avanzó mucho en dirección hacia la solución de dicho problema independientemente, con anterioridad a la colaboración con Hyde. Se descubrieron otros productos de gran utilidad, siendo necesario por lo pronto comenzar la manufactura; a cuyo fin se solicitó la cooperación de la Dow Chemical Company, formándose en 1943 la Dow-Corning Corporation para fabricar y explotar los nuevos productos organosilíceos, a los que se dió el nombre de « siliconas », usado en primer lugar por Kipping por su analogía con las ketonas. La factoría Dow-Corning se basa en el método de síntesis Grignard, y tiene una producción mensual de unas 40 a 50 toneladas de siliconas diversas.

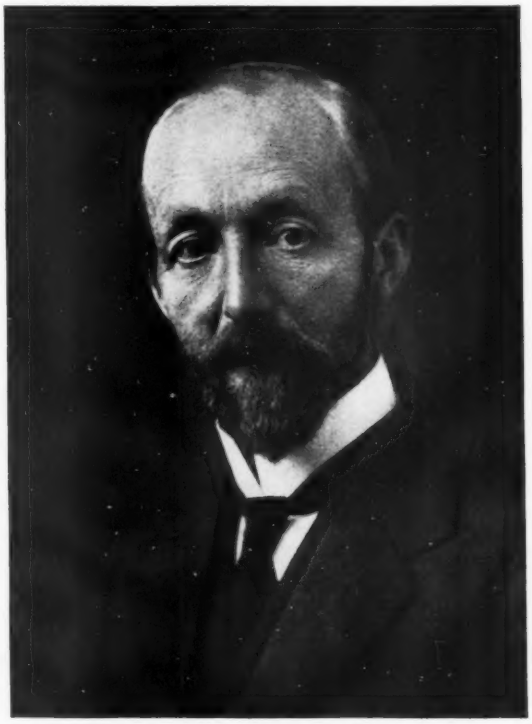


FIGURA 1 – *El Profesor Kipping*

Las investigaciones y el programa de desarrollo de la General Electric Company han sido llevados a cabo con gran energía por un extenso grupo de investigadores de gran competencia, especialmente el Dr. E. Rochow, siendo evidente que esta poderosa empresa se hallará muy pronto en condiciones de fabricar una serie completa de productos silíceos. Hasta ahora la fabricación se ha llevado a cabo en una planta experimental con una capacidad de producción mensual de dos toneladas. Gran avance significó el descubrimiento de un nuevo método [12] para la producción de los intermediarios de los compuestos organosilíceos; método que consiste en poner en contacto el vapor de un alquil o aril hálido con una mezcla de silicio y cobre, o plata, a una temperatura elevada:

$$Si + 2CH_3Cl \xrightarrow{Cu} (CH_3)_2SiCl_2$$

La acción catalítica del cobre y plata parece estar relacionada con la transitoria formación de sus compuestos orgánicos [13]:

$$CH_3Cl + Cu \longrightarrow CH_3CuCl$$

Dicho proceso es particularmente efectivo con el cloruro metílico a 280–300° C., conduciendo a una compleja mezcla de metilclorosilanos, el principal de los cuales es el dimetildiclorosilano (p.e. 70° C.). El metiltriclorosilano (p.e. 66° C.) se encuentra también presente en proporción notable, mientras que el trimetilclorosilano (p.e. 57° C.) y el metildiclorosilano (p.e. 42° C.) son constituyentes menores. En la preparación de ciertas siliconas es necesario emplear productos intermediarios de gran pureza a fin de conservar bajo control efectivo el grado de entrecruzamiento. Debido a la proximidad de su punto de ebullición,

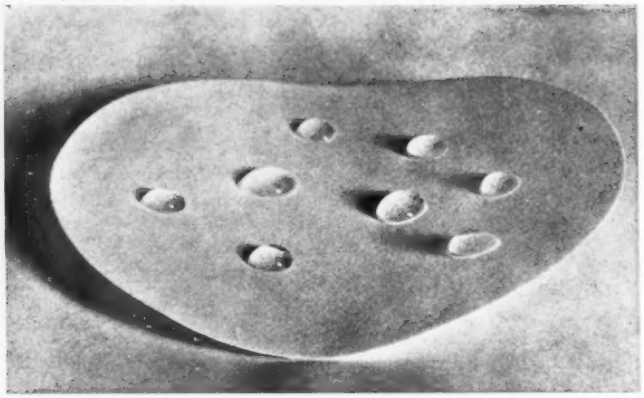


FIGURA 2 – *Papel repelente de agua para filtros. El papel fué expuesto durante 15 segundos al vapor de metiltriclorosilano, y luego a amoníaco gaseoso. Las gotas de agua no son absorbidas y no humedecen el papel, que retiene asi su dureza y permeabilidad para los gases y otros muchos líquidos.*

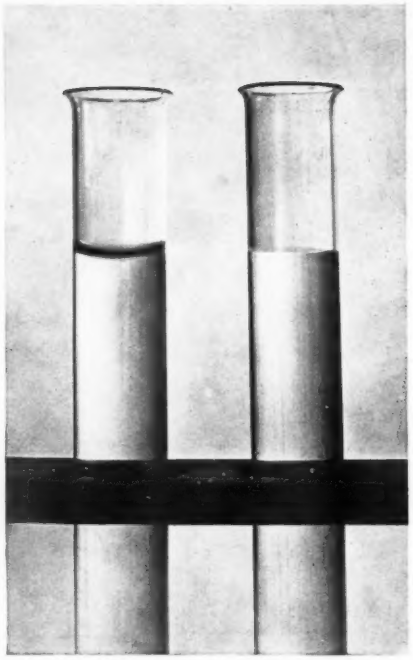


FIGURA 3 – *Tubos de vidrio con agua. A la izquierda un tubo de ensayo normal y limpio con el menisco característico de los líquidos que mojan el vidrio; a la derecha un tubo semejante cuyo interior estuvo en breve contacto con dimetildiclorosilano líquido y después bien limpiado con alcohol y éter. El menisco es plano porque el vidrio no se moja.*

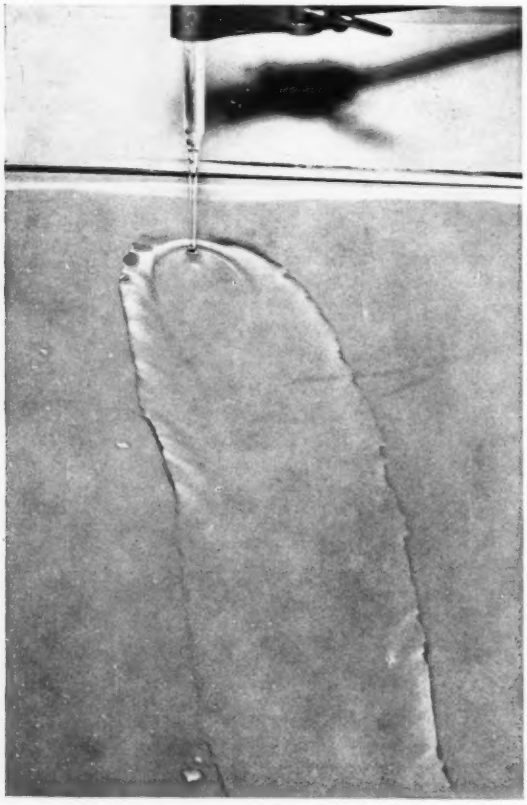


FIGURA 4*a* – *Sobre una lámina de vidrio limpia, con una inclinación de 35° corre un filete de agua delgado y extendido, debido a que el cristal está enteramente mojado; la forma de la película de agua en movimiento permanece, por lo general, la misma.*

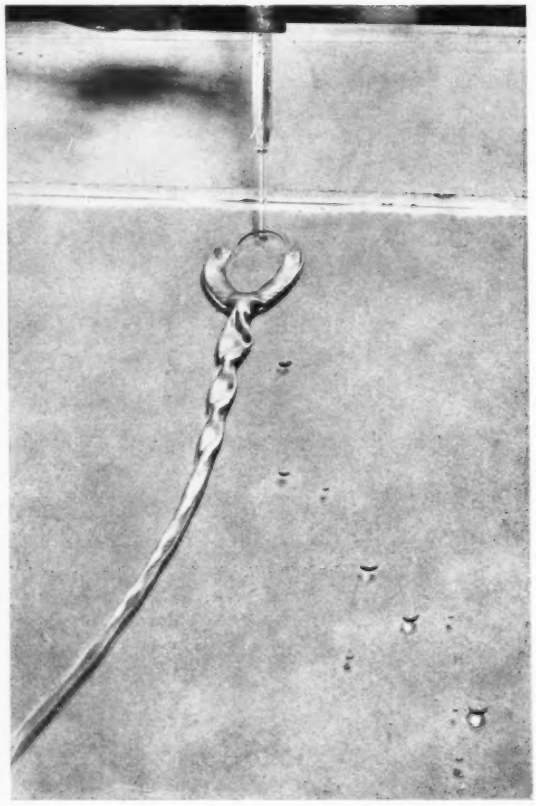


FIGURA 4*b* – *El cristal ha sido tratado mediante el contacto con dimetildiclorosilano líquido; el agua corre ahora sobre un área mínima de contacto, cambiando continuamente su curso y produciendo un efecto que recuerda las violentas sacudidas de una serpiente.*

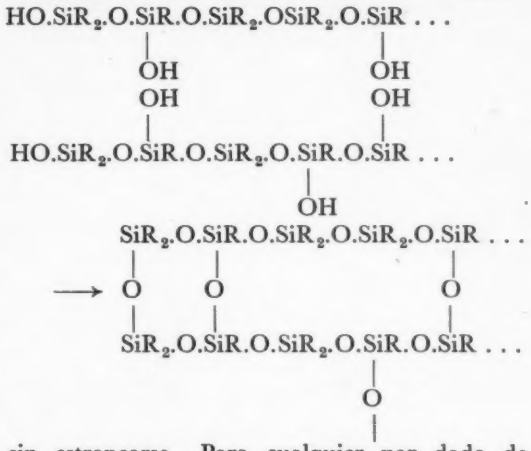
los metilclorosilanos pueden ser separados solamente en columnas de fraccionamiento muy eficaces (80–100 planchas teóricas). Esta nueva síntesis se adapta bien a la producción en gran escala, esperándose que el coste de manufactura sea más bajo que con el proceso Grignard. Desgraciadamente, la síntesis directa no tiene un éxito uniforme, de modo que en aquellos procesos en que no conviene emplearla hay que acudir al método Grignard.

Propiedad interesante de ciertos compuestos organosilíceos es su capacidad de producir superficies que repelen el agua en vidrios y cerámica e impermeabilizar tejidos de algodón [14] y el papel, que se componen principalmente de celulosa (figuras 2, 3, 4). Este resultado se obtiene mediante la aplicación por unos instantes al vapor de dimetildiclorosilano. Se cree que este material reacciona con grupos hidroxilos superficiales y átomos metálicos para producir una capa impermeable al agua de grupos dimetilsiloxanos químicamente enlazados. En el caso de los materiales celulósicos es necesario neutralizar inmediatamente para impedir la acción destructiva del ácido clorhídrico; otro método alternativo más fácil es impregnar el producto con polidimetilsilicona líquida y someterlo después a un tratamiento térmico adecuado, procedimiento éste muy útil para la cerámica, la protección de aparatos de radio y de radar contra averías debidas al depósito de finas películas de agua sobre los accesorios de cerámica, tales como los formadores de las bobinas, bases de los transformadores de alta frecuencia y resistencias de alambre.

Filtros de papel impermeabilizado sirvieron para proteger ciertas máscaras contra los daños de la inmersión; y es de notar que dichas superficies repelentes del agua quedan destruídas por películas de grasa y de polvo, debiendo tenerse por lo tanto gran cuidado durante su preparación y maneja: no se las debe tocar con la mano y deben ser usadas únicamente bajo condiciones que impidan toda contaminación.

Las resinas de siliconas [15] se producen principalmente a base de la condensación de un intermediario formativo de cadena con una que sea capaz de entrecruzamiento; consisten de moléculas de cadena larga que poseen una cantidad bajo control de grupos hidróxilos. Disueltas en tolueno forman barnices viscosos que se transforman al secarse o cocerse en capas insolubles.

La temperatura de cocción es relativamente elevada (175–250° C.), y luego pueden mantenerse las resinas a 175–200° C. durante largos períodos



sin estropearse. Para cualquier par dado de intermediarios debe mantenerse dentro de ciertos límites estrechos la cantidad de entrecruzamiento, fuera de dichos límites el producto no tiene valor material de protección. Este límite puede conocerse sólo por medio de tanteos, y como la variedad de radicales es tanta, es evidente que se requieren extensas investigaciones para hallar las resinas que posean la deseada combinación de propiedades. Las que se conocen hoy han sido seleccionadas para ciertas aplicaciones específicas: hay barnices aisladores para recubrir alambres, y resinas para la protección de tejidos de vidrio; varias capas de estos últimos, impregnadas con resina, y sometidas a una temperatura conveniente pueden formar paneles o tubos. Otras resinas pueden mezclarse con pigmentos de estabilidad térmica para producir pinturas y esmaltes de gran resistencia al calor.

El principal objeto en el desarrollo de las resinas de silicona era el obtener mejores aisladores para maquinaria eléctrica, motores, generadores y transformadores [16]. Las aislaciones corrientes requieren el uso de barnices orgánicos y de aceites secantes, papel y algodón, siendo de corta duración cuando se los utiliza en instrumentos de uso continuado, en especial si éstos tienen que funcionar en temperaturas elevadas con períodos ocasionales de sobrecarga. La aislación de Clase A, que comprende barnices orgánicos, papel y algodón, está limitada a 100° C., según determinaciones por el método de resistencia; si se substituye el papel y algodón por cristal y asbestos (Clase B), el límite se eleva a 120° C.; y de una serie de pruebas aceleradas [17] a temperaturas de hasta 300° C. se ha comprobado que aislaciones a base de resinas de silicona, vidrio, asbestos, mica, etc., permiten alcanzar un límite de 160° C. durante

una duración normal. Lo cual significa que existe una mayor libertad al diseñar los aparatos. La aislación a base de silicona no sólo es termo-resistente, sino también resiste al agua y soluciones acuosas, debiendo tener buena aplicación en las minas y factorías en las que se manejen productos corrosivos.

La necesidad de un substituto termo-resistente para la goma de los cables eléctricos ha quedado satisfecha con la notabilísima goma de silicona [18], la cual se diferencia del resto de los materiales gomosos en que su esqueleto molecular no contiene átomos de carbono, sino que consiste en una cadena larga de grupos dimetilsiloxanos:

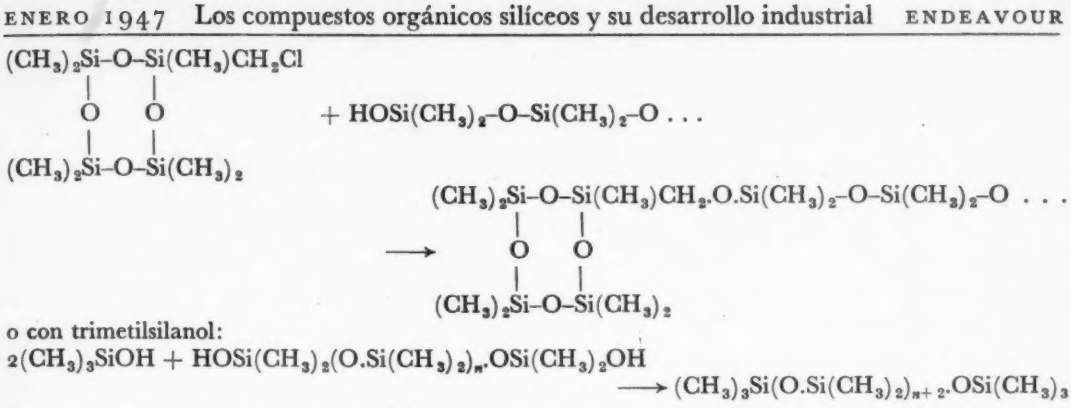
$$HO.Si(CH_3)_2.O.Si(CH_3)_2 \ldots O.Si(CH_3)_2.O.Si(CH_3)_2.OH$$

Se deriva del producto hidrolítico de dimetildiclorosilano suficientemente puro, calentado con ácido clorhídrico y los cloruros metálicos activos, asemejándose a una goma traslúcida o gelatina pegajosa. Para que adquiriese propiedades gomosas fué preciso establecer entrecruzamientos entre las moléculas de cadena larga por medio de un proceso de vulcanización; pero, como se satura, el proceso común de vulcanización a base de azufre no es posible. El método usado parece ser el de oxidación controlada, probablemente inducida mediante el calentamiento con un producto orgánico oxigenado. Se mezcla la goma con una proporción conveniente de rellenos inorgánicos y del agente vulcanizador, siendo entonces moldeada, comprimida o laminada a unos 150° C., lo cual sirve para desarrollar su estabilidad dimensional, pero su máxima resistencia no se obtiene hasta ser tratada, durante largo período, a una temperatura de 250° C. La resistencia tensil es menor que en otras gomas, alcanzando tan sólo 45 Kg./cm^2., y la extensión máxima varía entre 100 y 300%; la resistencia a rasgarse es también poca, pero puede mejorarse mediante la inclusión de un tejido. Con todo, la goma de silicona posee resistencia térmica y oxigénica muy elevadas, y ha sido muy usada para las guarniciones de juntas expuestas a temperaturas de 200° C. y más.

La erección de la fábrica Dow-Corning en 1943 respondió a la gran demanda de un material capaz de aislar totalmente el sistema de encendida de los motores de aviación contra la descarga coronal, fenómeno que se produce a gran altura y que puede producir con gran rapidez la paralización del motor, debido a la destrucción del sistema de aislación. Se descubrió que una grasa a base de una hidrolización de una mezcla de tetracloruro de silicio, dimetildiclorosilanos, y metiltriclorosilanos era de gran utilidad en estos casos. Se trata de una grasa incolora y traslúcida que no cambia su consistencia en una escala de temperatura desde —40° C. hasta más de 200° C., y aunque su resistencia eléctrica es grande no forma una capa aisladora en los enchufes desconectables empleados en los sistemas de encendido; no sólo no causa daño alguno a la goma y otras substancias sintéticas de la aislación, sino que es además un excelente lubricante y preservativo de dichos materiales. Al producirse una descarga en la grasa se deposita cierta cantidad de carbono, pero el principal producto de descomposición es el silicio, por lo que las descargas a través de la envoltura no son tan graves como con los aisladores ordinarios; se aplicó también la grasa a los enchufes desconectables y orificios de las bujías para excluir de ellos el aire, impidiéndose al mismo tiempo la introducción de humedad y los corto-circuitos producidos por las películas de agua. Durante la guerra, esta grasa de silicona contribuyó no poco en la seguridad de las operaciones aéreas de los aliados a gran altura.

Se utilizó también dicha grasa para los equipos de radio y de radar, como lubricante de los ejes y otras partes móviles de las antenas rotatorias, y para los torniquetes de los tubos de oxígeno de las torres rotatorias de los aviones. Se ha usado asimismo como lubricante de los bolsones de goma usados en la técnica del moldeo a baja presión con las resinas de contacto. Una grasa de alto vacío es muy útil debido a su baja presión gaseosa, alta tensión pelicular y su capacidad para humedecer toda clase de superficies. Otras grasas espesadas con negro de carbono y jabones metálicos son convenientes para la lubricación de cojinetes de gran velocidad que deben funcionar a temperaturas tan bajas como —75° C. o tan altas como 150° C.

Al hidrolizarse, el dimetildiclorosilano da una variedad de productos de condensación de dimetilsilandiol, cíclicos algunos de ellos, como el hexametilciclotrisiloxano (p.f. 65,5° C., p.e. 135° C.) mientras otros son lineales. Una gran variedad de complejidad molecular es posible, y de aquí que los productos líquidos cubran una amplia escala de puntos de ebullición y de viscosidad [19]. Estas siliconas flúidas poseen propiedades de gran interés y utilidad: por ejemplo, debido a su baja cohesión molecular [20] el cambio de viscosidad es muy pequeño en relación con el de temperatura; tienen una alta resistencia eléctrica y un bajo factor de potencia hasta 10^7 c./s. Se han empleado diversos procedimientos para extender el número de liquidos disponibles: por ejemplo, la viscosidad



o con trimetilsilanol:

$$2(CH_3)_3SiOH + HOSi(CH_3)_2(O.Si(CH_3)_2)_n.OSi(CH_3)_2OH \longrightarrow (CH_3)_3Si(O.Si(CH_3)_2)_{n+2}.OSi(CH_3)_3$$

puede aumentar mediante su calentamiento en el aire, ebullición con ácido clorhídrico y por condensación con anhidrido bórico. Otro método consiste en la condensación con un polímero líquido ligeramente clorinado (véase arriba).

En este último proceso [21] se supone que todo producto de condensación de dimetilsilandiol puede convertirse casi por completo en productos de longitud de cadena seleccionada mediante el tratamiento con una cantidad dada de trimetilsilandiol, o de su anhidrido hexametildisiloxano, en presencia de ácido sulfúrico concentrado. Debido a la imposibilidad de subsecuente condensación estos compuestos lineales de término poseen una notable estabilidad térmica. Los polidimetilsiloxanos pueden prepararse por un curioso método que evita el uso de materiales iniciales puros. Los *gels* quebradizos obtenidos por hidrolización de una mezcla de dimetildicloro- y metiltricloro-silanos se someten a destilación seca, preferentemente en presencia de una base fuerte, volatilizándose entonces los polidimetilsiloxanos y quedando los productos de condensación infusibles del metilsiloxanol [22].

Sus propiedades combinadas de un bajo gradiente de viscosidad-temperatura, amplia escala de fluidez y alta compresibilidad hace que dichos productos sean muy convenientes para uso en sistemas hidráulicos de precisión, frenos y amortiguadores; otros productos tienen efectividad para el desmolde, lubricantes de fibras, repelentes del agua, y algunos de ellos, muy estables y de elevado punto de ebullición, son útiles para las bombas de difusión, baños de alta temperatura e instrumentos de control térmico. Los flúidos de silicona son muy efectivos para reducir la tendencia espumosa de los aceites de hidrocarbonos, aun en diluciones tan bajas como 1 en 10^6.

BIBLIOGRAFIA

[1] Friedel, C., y Crafts, J. M. *Ann.*, 1863, **127**, 28.
[2] Ladenburg, A. *Ber.*, 1873, **6**, 1029.
[3] Polis, A. *Ber.*, 1885, **18**, 1540.
[4] Kipping, F. S. *J.C.S.*, 1907, **91**, 209; 1908, **93**, 457.
[5] Kipping, F. S., y Martin, G. *J.C.S.*, 1909, **95**, 302.
[6] Kipping, F. S. *J.C.S.*, 1912, 101.
[7] Dolgov, B. N. *Uspekhi Khimii*, 1932, 1, No. 5, 626.
[8] Sauer, R. O. *J. Chem. Educ.*, 1944, **21**, 303.
[9] Shtetter, I. I. *Russ. Pat.* 44934, 30 Noviembre, 1935.
[10] Andrianov, K. *Zhurnal Obshceic Khimii*, 1938, **8**, 552, 558; *J. Gen. Chem.* (U.S.S.R.), 1938, **8**, 1225; *Org. Chem. Ind.* (U.S.S.R.), 1939, **6**, 203.
[11] Kotow, M. M. *Zhurnal Prikladnei Khimii*, 1939, **12**, (10), 1435.
[12] Rochow, E. G. *J.A.C.S.*, 1945, **67**, 963.
[13] Hurd, D. T., y Rochow, E. G. *J.A.C.S.*, 1945, **67**, 1057.
[14] Norton, F. J. *General Electric Review*, Agosto 1944.
[15] Rochow, E., y Gilliam, W. F. *J.A.C.S.*, 1941, **63**, 798. Hyde, J. F., y DeLong, R. C. *J.A.C.S.*, 1941, **63**, 1194.
[16] Kauppi, T. A., y Moses, G. L. *Trans. Amer. Inst. Elect. Engrs.*, 1945, **64**, 90.
[17] Kauppi, T. A., Grant, G., Moses, G. L., y Horrell, R. F. *Westinghouse Engineer*, Septiembre, 1945, 135.
[18] *Silicone Rubber*, General Electric Company.
[19] Corning Glass Works, McGregor, R. R., y Warwick, E. L. B.P. 572331, 572401.
[20] Hunter, M. J., Hyde, J. F., Warwick, E. L., y Fletcher, H. J. *J.A.C.S.*, 1946, **68**, 667.
[21] Patnode, W., y Wilcock, D. F. *J.A.C.S.*, 1946, **68**, 358.
[22] Corning Glass Works, y Hyde, J. F. B.P. 571725. Scott, D. W. *J.A.C.S.*, 1946, **68**, 356.

Los sentidos de los murciélagos

BRIAN VESEY-FITZGERALD

La notable habilidad de los murciélagos para eludir los obstáculos y para atrapar su presa en la oscuridad es conocida desde hace siglos, pero sólo en los últimos años se ha encontrado una explicación satisfactoria de dicho fenómeno. Tenemos ahora amplias pruebas, basadas en las experiencias del laboratorio y de la vida misma, para afirmar que los murciélagos se guían emitiendo vibraciones ultrasonoras y recibiendo los ecos de los objetos que encuentran a su paso, sistema que tiene mucha similitud con el « radar ».

Entre los numerosos problemas que los murciélagos ofrecen a las pesquisas del naturalista, ninguno ha sido más desconcertante que el presentado por su vuelo en la noche y por la manera que tienen de captar los insectos con que suelen alimentarse (los murciélagos ingleses, desde luego, se alimentan exclusivamente de insectos), sin tropezar con los objetos que obstruyen su camino. El vuelo de los murciélagos es rápido y de curso irregular, desarrollándose frecuentemente en densos bosques, o por los pasajes sinuosos y estrechos de las cuevas, a veces en completa oscuridad. Siempre pareció improbable que unos animales con ojos tan pequeños pudieran ver en la oscuridad con suficiente penetración, para volar en tales medios sin tropezar. Se han hecho muchos experimentos con murciélagos cautivos, demostrativos de su habilidad para eludir obstáculos que no podían ver. A fines del siglo XVIII, el científico italiano Lazzaro Spallanzani descubrió que unos murciélagos a los que había dejado ciegos podían volar en una habitación, sin chocar con las paredes, ni con los muebles, ni con unos hilos de seda extendidos a su paso. Un científico suizo, Luis Jurine, confirmó este hecho, añadiendo el descubrimiento de que los murciélagos perdían su habilidad para evitar los obstáculos cuando se les obstruía el órgano de audición.

En 1920, el Profesor Hartridge sugirió que los murciélagos, al volar en la oscuridad, eran tal vez capaces de fijar la posición de los obstáculos mediante vibraciones ultrasonoras, emitidas por los animales y reflejadas por los objetos sobre sus oídos. Veinte años más tarde, después de desarrollarse el radar como sistema operativo, Griffin y Galambos, trabajando en América, probaron la exactitud de dicha hipótesis.

Griffin y Galambos comenzaron su trabajo confirmando que los murciélagos ciegos podían volar con toda seguridad. Confirmaron después el descubrimiento de Jurine, según el cual, si se obstruye la audición de un murciélago, éste es incapaz de evitar los obstáculos en su vuelo. En realidad, hallaron que un murciélago con las dos orejas tapadas se muestra desinclinado a emprender el vuelo, y con una sola oreja cubierta vuela relativamente bien, aunque no es capaz de evitar todos los obstáculos. Estos sencillos experimentos indicaban que los murciélagos se dan cuenta de la posición de los obstáculos que no pueden ver, mediante ondas sonoras reflejadas por ellos. Los experimentadores cubrieron después la nariz y la boca de sus murciélagos, dejándoles las orejas descubiertas, y hallaron que los animales eran, otra vez, incapaces de volar con seguridad. De este modo probaron que las ondas sonoras reflejadas por los objetos debían ser producidas por los aparatos bucales de los propios murciélagos.

Sus experimentos posteriores fueron realizados con la ayuda del aparato electrónico conocido con el nombre de analizador ultrasonoro. Este consiste en un micrófono sensible a las vibraciones ultrasonoras; un amplificador que las intensifica y las convierte en vibraciones de más baja frecuencia, y un registrador que traza un gráfico sobre un papel, al recibirse las ondas ultrasonoras. El analizador mide la frecuencia de todas las ondas ultrasonoras que puede captar. Por medio de este instrumento se descubrió que los murciélagos emiten ondas ultrasonoras, con frecuentes intervalos, a casi todas horas. La frecuencia de las vibraciones varía, naturalmente, pero la normal viene a ser de unas 50.000 vibraciones por segundo, y a este nivel, cada chillido dura un poco menos de 0,005 seg.

Es evidente que cuanto más frecuentes sean los chillidos del murciélago tanto más completa será la información recibida. Se ha probado que un murciélago en reposo emite un chillido ultrasonoro alrededor de 10 veces por segundo, pero tan pronto como emprende el vuelo, la proporción

F
h
ce
k

FIGURAS 1–3 – *La acción del ala de un murciélago en un vuelo horizontal dirigiéndose hacia la cámara. Los murciélagos dan de quince a veinte aletazos de esta clase por segundo y recorren unos quince kilómetros por hora.*

FIGURAS 4–6 – *Vuelo horizontal de costado a la cámara. Los murciélagos vuelan levantando las alas plegadas en parte y extendiéndolas rápidamente hacia abajo y hacia adelante. Nótese que en todas estas fotografías los murciélagos tienen la boca abierta.*

FIGURA 7 – *Avisado por el eco, un murciélago hace un rápido viraje para eludir una pared. La inminencia del accidente evitado se nos muestra en la sombra del murciélago.*

FIGURA 8 – *Descendiendo para posarse. Nótese la membrana interfemoral deprimida. Todas estas fotografías han sido tomadas a una cienmilésima de segundo.*

sube a unas 30 veces por segundo. Esto era de esperar, puesto que un murciélago en vuelo necesita indudablemente más información que un murciélago en reposo. Griffin y Galambos descubrieron más tarde que cuanto más se aproxima el murciélago a un obstáculo, más rápidamente crece la proporción de sus chillidos, llegando a 50 y a veces a 60 por segundo, y descendiendo a la escala normal tan pronto como el obstáculo ha sido superado.

Además del chillido ultrasonoro, que no puede ser percibido por el oído humano, el murciélago emite otras tres clases de sonidos: (1) la voz ordinaria, que es el reclamo del vuelo y que ha sido llamado por Hartridge la voz de aviso; (2) un zumbido que podemos oir si estamos muy cerca del animal, y (3) un chasquido, que se puede oir, por lo general, a la distancia de un metro. No puedo determinar si el zumbido varía con las diferentes especies. A mi parecer, suena exactamente igual cuando es emitido por un *Eptesicus serotinus* o por un *Pipistrella pipistrellus*. Tampoco puedo distinguir ninguna diferencia entre los chasquidos emitidos por las diferentes especies. Pero los reclamos de vuelo son completamente distintos. Es posible distinguir las especies al volar, por medio de sus reclamos de vuelo (también es posible, con alguna práctica, distinguir entre los tipos de vuelo) y yo he intentado en otra parte, describir las diferencias entre los reclamos de las diversas especies. Se ha probado que el zumbido y el chasquido van acompañados de una emisión ultrasonora. En el caso del chasquido, hay una sola descarga brusca de energía ultrasonora, pero en el caso del zumbido hay una continua evolución de la emisión ultrasonora interrumpida. El reclamo de vuelo, sin embargo, puede aparecer aislado o acompañado de emisión ultrasonora. Algunos murciélagos, especialmente el pequeño *Rhinolophus hipposideros*, tienen un gran vocabulario de sonidos ordinarios, mientras que otros, especialmente el *Myotis mystacinus*, apenas tienen sonidos de esta clase. Nunca le he oído al *M. mystacinus* lanzar un sonido de éstos en vuelo, y de los muchos que tuve en cautividad, sólo unos pocos emitieron algunos tenues gruñidos, muy raramente, cuando estaban en reposo.

Aún no se ha aclarado cómo se producen estos cuatro tipos de sonidos, pero el examen de los órganos bucales de los murciélagos ha mostrado que son muy diferentes de los de otros animales. La laringe, que en la mayor parte de los animales está hecha de cartílago, en los murciélagos está hecha de hueso y es, en cierto modo, una fuerte estructura con largos y poderosos músculos. El vigor y el pequeño tamaño de la laringe del murciélago se adaptan muy bien a la producción de las vibraciones ultrasonoras, porque se requiere una gran energía para emitir chillidos ultrasonoros, en comparación con la de los chillidos audibles. Cuanto más alta sea la nota y mayor la frecuencia, tanto más grande ha de ser la energía.

Aunque no se sabe aún exactamente cómo se producen las vibraciones ultrasonoras, sí sabemos cómo evita el murciélago su audición del chillido. Es esencial, naturalmente, que el murciélago no oiga más que el eco. La misma dificultad tuvo que ser vencida en la transmisión del radar. A fin de conseguir que sólo sea captado el eco por el receptor, éste queda suprimido mientras el transmisor emite. Algo parecido ocurre en el murciélago mientras lanza sus ondas ultrasonoras. Griffin y Galambos han encontrado que, mientras el murciélago lanza su chillido, contrae momentáneamente un músculo del oído, de manera que, sin quedarse sordo, deja sólo paso a la percepción del eco.

Los murciélagos no son las únicas criaturas dotadas de poder de localización por el eco. El picoteo del pájaro barreno ciego es otro ejemplo del mismo sistema, y muchos seres humanos ciegos desarrollan una especie de misteriosa habilidad para moverse sin tropezar en los obstáculos. Tampoco son los murciélagos las únicas criaturas capaces de oir vibraciones ultrasonoras: los perros, por ejemplo, son entrenados a veces para percibir el silbido de Galton. Pero, por lo que sabemos hasta hoy, los murciélagos son las únicas criaturas que emiten vibraciones ultrasonoras para guiarse por sus ecos. Este importante descubrimiento, sin embargo, deja muchas cuestiones sin resolver respecto a la conducta de los murciélagos y, como suele ocurrir con todos los descubrimientos de importancia, plantea un cierto número de nuevos problemas.

La primera cuestión que se plantea es la siguiente: ¿Cómo no confunden los murciélagos los ecos de sus propios chillidos con los ecos de los chillidos de sus compañeros? Podría pensarse que, con un gran número de murciélagos de la misma especie reunidos en una cueva o en el techo de una iglesia, lanzando todos a la vez chillidos ultrasonoros, la confusión debería resultar inevitable. Pero debe recordarse que los chillidos ultrasonoros no avanzan demasiado lejos, puesto que su energía se disipa rápidamente en el aire. Se ha probado que los chillidos ultrasonoros de los murciélagos recorren sólo unos cinco metros, y que sólo son

capaces de proporcionar un eco utilizable a la distancia de unos cuatro metros. En otras palabras: siempre que los murciélagos no estén enteramente apelotonados, existe poca probabilidad de confusión. Pero, como sabe todo el que tenga alguna experiencia con los murciélagos, éstos aparecen frecuentemente apelotonados, no obstante lo cual, la confusión no se produce. Parece evidente que existe alguna diferencia en la frecuencia de las vibraciones de cada murciélago.

Quedan en pie varios problemas para los que no se ha encontrado aún solución. Primero: ¿emiten los murciélagos su chillido ultrasonoro por medio de la boca o de la nariz, o con ambos órganos? Todos los murciélagos británicos son insectívoros, y todos, con la posible excepción del *Barbastella barbastellus*, vuelan habitualmente con la boca abierta. Además, todos los murciélagos británicos capturan su presa mientras vuelan y la mayor parte de ellos cazan insectos volantes. ¿Qué ocurre cuando el murciélago cierra la boca para capturar un insecto? ¿Cesa la facultad de localización por el eco (caso en el cual el murciélago habrá de volar a ciegas) o continúa esta función al través de la nariz? No lo sabemos. En el *Rhinolophus ferrum-equinum insulans* la lengüeta no se inclina hacia el fondo de la boca, como en la mayor parte de los animales, sino que se proyecta hacia arriba, acomodándose en la apertura trasera de las fosas nasales. No está fija en esta posición y probablemente puede retirarse, pero su disposición sugiere que los chillidos ultrasonoros, al menos en los *Rhinolophidae*, son emitidos a través de la nariz, sugestión que recibe un apoyo suplementario en el extraordinario desarrollo de la piel del hocico de estos murciélagos. Aunque el propósito de este apéndice, que en algunas especies es de una complejidad asombrosa, no es aún conocido, se ha sugerido que acaso esté relacionado con el enfoque del chillido en un estrecho haz, lo que facilita notablemente el conocimiento del murciélago acerca de su posición. Sea como quiera, no tengo dudas, como resultado de mi experiencia personal, de que los *Rhinolophidae* tienen una apreciación mucho más fina de su posición que otros murciélagos británicos. Esta especie es verdaderamente misteriosa en cuanto a su juicio de las distancias. Los murciélagos, generalmente, se cuelgan con la cabeza hacia abajo, suspendidos de las garras. La práctica usual de los murciélagos es la de posarse con la cabeza hacia arriba, arrastrando luego los pies hasta que pueden hacer presa, pero el *Rhinolophus* suele dar una vuelta en el aire, antes de posarse, quedando suspendido de sus garras, desde el primer momento, con la cabeza hacia abajo. Muy raramente he visto a un murciélago de esta clase dar ese paso en falso, a pesar de que no parece disminuir la velocidad de su vuelo al acercarse al lugar de reposo. Algunos de mis *Rhinolophidae* cautivos acostumbraban a dormir bajo un aparador, y cuando estaban colgados, apenas distaban más de cinco centímetros del suelo; sin embargo, volaban bajo el aparador, daban su « salto mortal » con toda precisión y se colgaban de las garras.

Hay una marcada diferencia en la estructura del oído entre los *Rhinolophidae* y los *Vespertilionidae*. En los primeros, la oreja es de una estructura relativamente simple, pero en los murciélagos sin hojas de nariz, el oído es de una estructura mucho más compleja, caracterizada por un gran desenvolvimiento de un lóbulo conocido con el nombre de trago. Se distingue éste particularmente en la especie de orejas largas, *Plecotus auritus*, en la cual el trago se desenvuelve como una segunda oreja. Se ha sugerido que el trago está relacionado con la localización por el eco, y es sin duda significativo el hecho de que los murciélagos con nariz de hojas no tengan trago, mientras que los murciélagos con trago no tienen nariz de hojas. Parece como si estos dos desenvolvimientos tuvieran que realizar funciones similares.

Creo digno de ser anotado que el *Plecotus*, en el que se da un desenvolvimiento tan marcado del trago, es en comparación con otros murciélagos del mismo grupo, un maestro en el vuelo dentro de locales confinados. La mayor parte de los murciélagos, al volar hacia sus campos de alimentación, lo hacen a considerable altura; pero el *Plecotus* vuela muy bajo, a veces a unos pocos centímetros del suelo, y el vuelo es rápido, directo y seguro. Por otra parte, el *Plecotus* captura relativamente pocos insectos en el vuelo, y prefiere apresarlos en las hojas de los arbustos y los árboles, lo que revela una exacta apreciación de las distancias.

Otros dos murciélagos británicos, el *Myotis nattereri* y el *M. mystacinus* tienen también el hábito de capturar sus presas en el follaje más bien que en el vuelo. El *M. nattereri* hace sus capturas en ambas formas, pero el *M. mystacinus* rara vez caza un insecto volante, prefiriendo buscar sus presas en los brezos y en las vallas, especialmente las arañas, a las que es muy aficionado. Ambas especies tienen un trago bien desarrollado, y en las dos, pero especialmente en la del *M. nattereri*, se da un marcado desarrollo de las bolsas glandulares de la cara.

La manera que tiene el murciélago de encontrar su presa es un misterio que aún no ha sido aclarado. Es indudable que no puede verla, y no aparece que el murciélago tenga el sentido del olfato muy desarrollado. ¿Cómo puede entonces el *Nyctalus noctula*, volando alto y ligero, encontrar su presa? Si usted tira una china al aire debajo de un *N. noctula* cazador, el murciélago se lanzará sobre ella, apartándose de la china a muy poca distancia, sin llegar a tocarla. Ate usted una mosca a un hilo largo y láncela al aire mientras los murciélagos están de caza; éstos se lanzarán sobre la mosca, pero es muy poco probable que pesque usted uno sólo por este procedimiento. El *Myotis daubentonii* es enganchado a veces con una mosca de pesca, pero casi siempre por un ala. No creo que se haya dado un solo caso de enganchar al murciélago por la boca, lo que revela que en el último instante (aunque demasiado tarde para evitar todo contacto) se ha dado cuenta de su error. Todo esto sugiere que el chillido ultrasonoro devuelve un eco de todo lo que vuela alrededor, pero no acertamos a explicarnos cómo distingue el murciélago, entre las cosas que vuelan, las que merecen su atención. Yo no he visto nunca a un murciélago lanzarse sobre otro, aun en el caso de que haya muchos volando juntos y al azar en un área confinada. No hay modo de explicarse cómo el *Plecotus* y el *M. mystacinus* saben que hay un insecto o una araña posados en lo que el eco de localización les ha dicho que es un obstáculo que debe ser evitado. Sin embargo, en mi larga experiencia de los *M. mystacinus*, no he visto nunca uno que tropezase contra una valla o que hiciese una visita infructuosa a la misma.

Nos inclinaríamos a pensar que la localización por el eco del murciélago era más refinada aún de lo que se cree, si la experiencia no nos hubiese dado noticia de ciertas fallas. He visto murciélagos de diferentes especies chocar en el aire; en una ocasión, chocaron un *N. noctula* y un *Eptesicus serotinus*, muriendo los dos; en otra ocasión, chocaron un *Pipistrella* y un *Barbastella*, muriendo el primero. Estos accidentes ocurrieron durante la caza nocturna, y nos inclinamos a suponer que tuvieron lugar en un momento en que la localización por el eco había quedado suspendida, tal vez porque los dos animales habían capturado al mismo tiempo una presa y tenían la boca cerrada.

La experiencia demuestra, por otra parte, que hay momentos en que la localización por el eco no funciona en absoluto. Yo he cazado muchos murciélagos tendiendo redes a la entrada de sus guaridas en noches de verano. Una vez, deseoso de descubrir si los murciélagos volaban o no por la noche—se pensaba entonces que los murciélagos sólo hacían un vuelo al anochecer y otro por la mañana—hice cierto número de observaciones durante toda la noche, ante las guaridas, y después de que los murciélagos habían dejado su agujero para emprender su vuelo nocturno, cubrí de redes la entrada de sus guaridas. Cogí muchos murciélagos en aquellas redes, a casi todas las horas de la noche, cuando trataban de volver a sus agujeros. Por aquel tiempo no se sabía nada acerca de las vibraciones ultrasonoras en conexión con los murciélagos, y no encontré nada extraño en lo ocurrido. Pero en el verano de 1946, dándome cuenta de que la vibración ultrasonora debería haberles advertido del obstáculo, repetí la experiencia, con el mismo resultado. Los murciélagos parecían completamente ignorantes de la existencia de la obstrucción y volaban directamente hacia sus nidos. Más tarde, cubrí la entrada de la guarida de un *N. noctula* con un grueso papel de estraza, y aun éste pasaba inadvertido para los murciélagos, que se lanzaban contra el papel. Antes de entrar en su guarida, vuelan alrededor de los árboles y entre sus ramas sin hacer un solo movimiento en falso; pero no se dan cuenta de cualquier obstrucción colocada a la entrada de sus aposentos de dormir. Parece evidente que la localización por el eco queda en suspenso en aquel momento, por alguna razón desconocida.

En cambio, los murciélagos parecen utilizar la vibración ultrasonora durante su retiro. Todo el que haya visitado un refugio de murciélagos habrá podido advertir el temblor de los animales dormidos, apenas aparece un extraño. Están dormidos y no pueden moverse, pero no hay duda alguna de que están vigilando.

BIBLIOGRAFIA

HAHN, W. L. *Biol. Bull.*, 1908, **15**, 165.

HARTRIDGE, H. *J. Physiol.*, 1920, **54**, 54.

Idem. Nature, 1945, **156**, 490.

GALAMBOS, R. *J. Accous. Soc. Amer.*, 1942, **14**, 41.

GALAMBOS, R., y GRIFFIN, D. R. *J. Exp. Zool.*, 1942, **89**, 475.

GRIFFIN, D. R., y GALAMBOS, R. *J. Exp. Zool.*, 1941, **86**, 481.

MATTHEWS, L. H., *Zoo Life*, Verano 1946.

SPALLANZANI, L. *Le Opere di L. Spallanzani*, 1932.

VESEY-FITZGERALD, B. *Naturalist*, 1941, 789, 790, 791.

Idem. J. Soc. Pres. Fauna. Emp., 1943, **38**, 10.

Idem. Proc. Hants Field Club, 1944, **16**, 64.

Idem. Discovery, Septiembre 1945.

El significado de la resonancia en la química de los quanta

C. A. COULSON

El sistema de ecuaciones conocido con el nombre de mecánica de los quanta es, sin duda alguna, uno de los descubrimientos más importantes en la historia de la ciencia. La teoría de la resonancia constituye una de sus interesantes aplicaciones. Esta teoría, de la cual damos aquí una descripción general, explica de manera lógica las propiedades y reacciones de una gran variedad de substancias. Un punto de particular interés es el notable parecido entre la estructura de resonancia para el benceno y la establecida por Kekulé en 1865.

La idea de la resonancia dentro de la química de los quanta es una idea relativamente reciente, que debe su nacimiento en 1933, y su desarrollo inicial, a los trabajos de Linus Pauling en los Estados Unidos. Está relacionada con la función de los electrones dentro de las moléculas. Pero antes de entrar en esta materia debemos retrotraernos a los átomos individuales.

El punto a señalar respecto al movimiento de un electrón en un átomo es que, debido a ser tan sumamente pequeño y a la enorme velocidad con que se mueve, su posición no puede determinarse con exactitud y, a lo sumo, lo que se puede obtener es una imagen borrosa. Esto se puede comprender fácilmente si tenemos en cuenta que la velocidad media de un electrón en un átomo es al menos de $3{,}2 \times 10^6$ Km./h. y que su órbita no llega a 25×10^{-8} mm. de diámetro. La estructura de este sistema ha sido calculada matemáticamente por la llamada ecuación ondulatoria de Schrödinger. Estos cálculos son complejos, y para el propósito de este artículo basta decir que a pesar de que no podamos nunca determinar con exactitud la posición precisa de un electrón hay, en cambio, una elevada probabilidad (p.e. del 95%) en situarlo dentro de los límites de un determinado volumen. Los distintos electrones dentro de un átomo tienen « asignados » volúmenes de formas diferentes. Las figuras 1 y 2 muestran estos contornos correspondientes a los electrones de los átomos de hidrógeno y de oxígeno. En el hidrógeno, el único electrón está situado dentro de una esfera de un diámetro aproximado de 10^{-8} cm. En el oxígeno, con sus 8 electrones, hay dos de ellos (los internos $1s$ o de la capa K) que tienen volúmenes parecidos pero ocho veces menores; otros dos electrones (los $2s$) tienen volúmenes esféricos de dimensión parecida al del hidrógeno; y los cuatro restantes (electrones $2p$) se mueven dentro de límites de forma parecida a una pesa de gimnasia. El átomo normal de oxígeno puede ser imaginado como la superposición de todas estas formas.

El contorno de un electrón molecular dentro

FIGURA 1 (*izquierda*) – *Contorno límite del átomo de hidrógeno.*

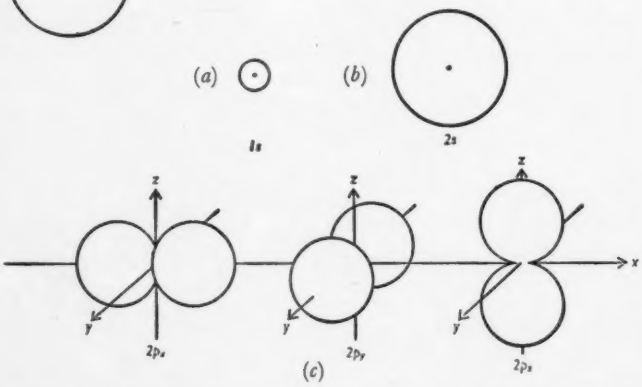


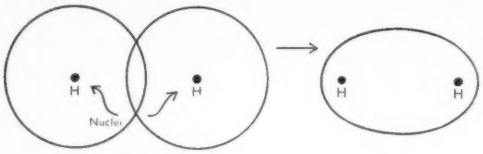
FIGURA 2 – *Contorno límites del átomo de oxígeno. Un átomo de oxígeno tiene su núcleo en el origin y:*

(*a*) 2 *electrones en un volumen* $1s$.

(*b*) 2 *electrones en un volumen* $2s$.

(*c*) 2 *electrones en uno de* $2p_x$, $2p_y$ *o* $2p_z$ *y un electrón en cada uno de los otros.*

Véase el texto.

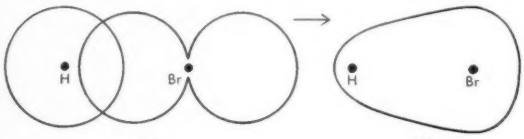


(*a*) (*b*)

FIGURA 3 – *El enlace* H–H.

(*a*) *Volúmenes electrónicos para un par de átomos aislados de hidrógeno.*

(*b*) *Volúmenes electrónicos para una molécula de hidrógeno. Dos electrones en una órbita* (*b*) *abarcan el enlace* H–H.



(*a*) (*b*)

FIGURA 4 – *El enlace* H–Br.

(*a*) *Volúmenes electrónicos para los electrones aislados de hidrógeno y bromo.*

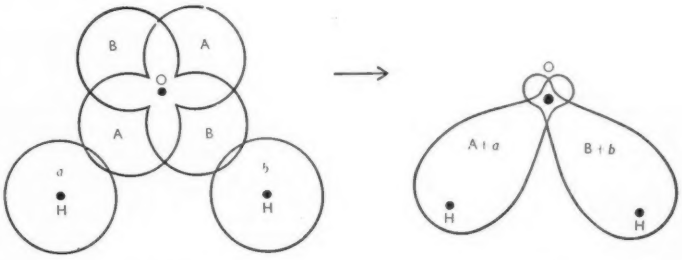
(*b*) *Volúmenes electrónicos para los electrones del enlace* H–Br. *Dos electrones en una órbita* (*b*) *abarcan el enlace* H–Br.

de una molécula diatómica no difiere, esencialmente, del de un electrón atómico. La primera característica importante, originalmente mencionada por G. N. Lewis en 1916, es que para establecer un enlace simple entre dos átomos se requieren dos electrones, como por ejemplo en el H_2 o HCl, y precisan cuatro electrones para un enlace doble, como en el O_2. La segunda característica es que los electrones que no intervienen en los enlaces tienen unos contornos casi idénticos a los de los átomos aislados. Al describir las órbitas de los electrones dentro de las moléculas nos referiremos solamente a los electrones que intervienen en los enlaces. Estas órbitas son, en términos generales, semejantes a los contornos atómicos, excepto naturalmente en cuanto que incluyen dos núcleos, y que son bicéntricas. La figura 3(*b*) muestra el contorno para el hidrógeno molecular (H_2) en el cual podemos ver que el enlace H–H se debe a dos electrones cuyas órbitas los distribuyen con bastante uniformidad según un volumen de forma de salchicha.

La misma figura muestra también que la silueta molecular puede considerarse como la superposición de los contornos que se ven a la izquierda. La figura 4 muestra que el enlace del HBr se deriva del contorno molecular compuesto de un contorno 1*s* de hidrógeno (como en la figura 1) y un contorno 4*p* del bromo, parecido en cierto modo al de la figura 2 correspondiente al oxígeno. Aquí, también, el contorno molecular es simétrico alrededor del eje del enlace, a pesar de que se inclina más hacia el extremo del enlace correspondiente al bromo, debido al mayor poder de atracción sobre el electrón de este último átomo. Cuando dos electrones están enlazados según un contorno tal como el de las figuras 3 o 4, se dice que están aparejados; en el lenguaje de la mecánica de los quanta, que tienen sus rotaciones de sentidos mútuamente opuestos.

Lo mismo ocurre con moléculas poliatómicas; cada enlace está formado por dos electrones mútuamente aparejados. Cada uno de estos posee un contorno que envuelve dos centros atómicos y es casi equivalente a la combinación de los contornos atómicos de los dos átomos afectados. Las órbitas atómicas se sintetizan así en una órbita molecular con una superposición máxima. La figura 5 muestra cómo los enlaces O–H en la molécula del agua (H_2O) forman aproximadamente un ángulo recto y son la síntesis de un contorno 1*s* de hidrógeno y el 2*p* del oxígeno.

Esto nos conduce a la idea de la resonancia. En general no hay dificultad en establecer cómo se combinan los contornos atómicos para formar los contornos moleculares localizados entre dos núcleos, dando lugar, si es que hay



(*a*) (*b*)

FIGURA 5 – *La molécula de agua.*

(*a*) *Los contornos de electrones atómicos por separado.*

(*b*) *Los contornos de electrones moleculares.*

Los electrones en cada contorno $A + a$ *y* $B + b$ *originan los dos enlaces* O–H.

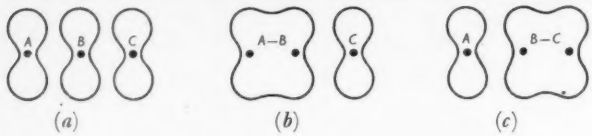
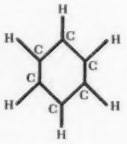


FIGURA 6

(*a*) *Tres contornos atómicos aislados y no aparejados.*
(*b*), (*c*) *Acoplamientos alternativos formando contornos moleculares.*

dos electrones afectados, a un enlace simple, y si son cuatro los electrones afectados a un enlace doble normal. El criterio según el cual los contornos atómicos se sobreponen lo más posible es ya guía suficiente. Pero hay ocasiones en que esta combinación de las órbitas atómicas no es tan evidente. Supongamos (figura 6*a*) que tenemos tres contornos atómicos 2*p* (órbitas *A*, *B*, *C*, de silueta como una pesa de gimnasia) en átomos contiguos y que los tres contornos son similares y paralelos y que están perpendicularmente dirigidos hacia la línea de los centros atómicos; tratemos ahora de fijar los contornos moleculares según los tres contornos atómicos anteriores. Es obvio que podemos unir *A* y *B*, formando así un contorno molecular según la figura 6*b* en el cual *C* queda según un átomo aislado. Pero es igualmente obvio que hay otra alternativa (figura 6*c*), en la cual *B* y *C* están enlazados y *A* queda aislado. No hay razón para favorecer una solución más que la otra. En resumen, ambas soluciones (*b*) y (*c*), que Pauling llama Estructuras de los Enlaces de las Valencias, disfrutan de igual posibilidad.

Un caso extremo — ciertamente el *locus classicus* del fenómeno — ocurre con el benceno (C_6H_6). Se sabe que esta molécula es plana y con un contorno de hexágono regular, así:



Un par de electrones es asignado al contorno de forma de salchicha entre todos los átomos adyacentes C–C y entre todos los átomos C–H, formando así un total de doce enlaces normales simples. Quedan aún los seis contornos de forma de pesa de gimnasia para el electrón atómico alrededor de cada núcleo de carbono; la figura 7*a* los muestra de forma esquemática. El aparejamiento de estos puede hacerse de dos maneras distintas: parecidamente a lo ilustrado en las figuras 6*b* y 6*c* obtenemos ahora los contornos moleculares 7*b* y 7*c*. Nuevamente no hay un método único para aparejar los electrones atómicos, ya que 7*b* y 7*c* están en un mismo nivel. Los razonamientos matemáticos de la teoría de los quanta nos dicen que ninguna de las estructuras, 7*b* o 7*c*, son en sí mismas una representación válida de la función ondulatoria de Schrödinger, pero se obtiene una aproximación aceptable suponiendo que ambas estructuras contribuyen igualmente a formar el llamado híbrido de resonancia. Esto quiere decir, desde el punto de vista físico, que el benceno debería comportarse, en parte, como si los enlaces dobles estuvieran en una posición y en parte como si estuvieran en la otra.

Notemos, sin embargo, lo que esto implica. Las dos estructuras 7*b* y 7*c* son precisamente las establecidas por Kekulé en 1865 y que las supuso estaban en oscilación dinámica, la cual era tan rápida que impedía toda observación. Ahora vemos que el fenómeno llamado resonancia quiere decir que en vez de dos estructuras en rápida alternancia, hemos de considerar la estructura como la superposición simultánea de ambas. Los enlaces no pasan alternativamente a ser sencillos y dobles sinó que al mismo tiempo son en parte simples y en parte dobles, según la forma de aparejamiento de los electrones. La matemática moderna ha incorporado la brillante intuición original de Kekulé y le ha dado forma dentro de una teoría lógica y exacta. Una interesante verificación de este punto de vista se obtiene por la longitud del enlace carbón–carbón. En la estructura de Kekulé ésta debería oscilar entre 1,54 Ångströms (enlace C–C simple) y 1,34 Ångströms (enlace C=C doble). Según la teoría de la

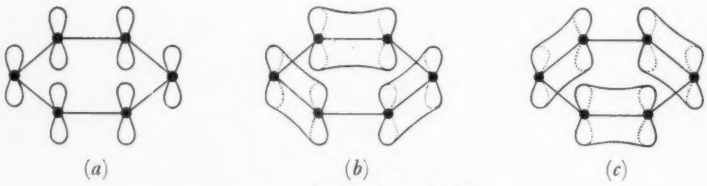


FIGURA 7 – *Acoplamiento del benceno.*

(*a*) *Separados contornos electrónicos.*
(*b*), (*c*) *Distintos acoplamientos alternativos formando contornos moleculares.*

resonancia, por la cual todos los enlaces son equivalentes, debería tener un definido valor entre los dos anteriores. Las medidas por medio de los rayos X prueban que es aproximadamente 1,39 Ångströms.

Antes de pasar más adelante podemos dar ahora una definición más comprensiva de resonancia en la mecánica quántica. « Cuando los electrones de una molécula pueden aparejarse según dos o más estructuras que son equivalentes entre sí, la verdadera molécula no se adapta a ninguna de ellas sino que es un híbrido de resonancia de ambas y, al mismo tiempo, muestra las características de cada estructura separadamente ».

¿Por qué se le llama resonancia? El conocido fenómeno del sonido puede ilustrarse por un experimento mecánico en el cual dos péndulos simples de longitudes casi iguales oscilan uno al lado del otro suspendidos de un mismo alambre horizontal en tensión. Si los períodos naturales de ambos son casi iguales, es bien sabido que las dos distintas oscilaciones obran recíprocamente y son reemplazadas por dos modos de vibración combinados (modos normales), con un paso de energía de un péndulo al otro de manera que la amplitud de un péndulo decrece en tanto que la del otro aumenta y viceversa. El paralelo que puede establecerse con el benceno es obvio. Cada una de las oscilaciones del péndulo corresponde a un aparejamiento particular *7b* o *7c* que se intercambian mútuamente. De hecho hay otra importante comparación, puesto que existen dos modos normales posibles para los péndulos. Una frecuencia es mayor y la otra menor que la de los dos componentes. En el caso del benceno las estructuras *7b* y *7c* pueden sobreponerse de dos maneras distintas: una posee una energía menor que la de cada estructura separadamente; la otra tiene una energía mayor. A la resonancia híbrida con energía inferior se la llama el estado básico y a la reducción de energía como resultado de la superposición de separadas estructuras se la llama energía de resonancia. A igualdad de condiciones, la energía de resonancia es tanto mayor cuanto más estructuras haya combinadas. En el caso del benceno el estado superior es importante en la absorción de la luz y la apariencia característica del compuesto está relacionada con la emisión y absorción de la luz cuando un incremento quántico tiene lugar desde un híbrido de resonancia a otro.

Todo esto son generalidades. Por una parte, siempre existe una disminución de energía como resultado de la mezcla de resonancias, lo que da una adecuada explicación a la estabilidad relativamente grande de compuestos como el benceno. Por otra parte esto se logra por el desplazamiento de los electrones. En el caso del benceno, debido a la superposición de *7b* y *7c*, un electrón, que inicialmente estaba alrededor del átomo No. 1, se apareja en una órbita molecular alrededor del átomo No. 2 de manera que puede emigrar a este átomo. En esta nueva posición puede aparejarse con una órbita del átomo No. 3 y puede de esta forma seguir su emigración alrededor del anillo de carbono. Podemos describir la situación, diciendo que hay seis electrones en el benceno que son capaces de moverse como débiles corrientes alrededor del hexágono central. Estas corrientes deben mostrar característicos efectos magnéticos. Estos efectos son exactamente lo que de manera experimental prueba la anisotropía diamagnética. Esta deslocalización de los electrones significa también que cualquier desequilibrio químico en una parte del anillo debe propagarse (quizá con potencia decreciente) a todas las otras partes de la molécula. Esto es, en realidad, la base de la explicación teórica de todos los efectos inductivos o mesoméricos profundamente investigados por medio de experimentos en los cuales un grupo atómico es reemplazado por otro.

Todo esto son aplicaciones importantes de la teoría de la resonancia pero que no, en manera alguna, agotan sus posibilidades. Disponemos de espacio para citar sólo otros cinco ejemplos particulares como ilustraciones de principios generales.

ORDEN DE ENLACES FRACCIONALES: EJEMPLO, EL NAFTALENO

En el benceno hay sólo dos estructuras importantes. En el naftaleno, sin embargo, hay tres tal como indica la figura 8, correspondientes a tres maneras distintas de agruparse los contornos electrónicos atómicos. Si los tres contribuyen por igual al híbrido de resonancia, un enlace tal como el designado *A* sería un enlace

FIGURA 8 – *Tres estructuras para el enlace de valencias en el naftaleno.*

doble los $\frac{2}{3}$ del tiempo y un enlace simple el tercio restante. Podría describírsele, más exactamente, como $\frac{2}{3}$ de enlace doble y $\frac{1}{3}$ de enlace simple. Este orden podría llamarse $1\frac{2}{3}$. De forma parecida el enlace *B* sería de un orden $1\frac{1}{3}$. Naturalmente *A* sería más parecido a un enlace doble. Esto concuerda satisfactoriamente con el hecho experimental que *A* es más reactivo que *B*. Observemos que ahora podemos asignar un orden numérico fraccional a los enlaces.

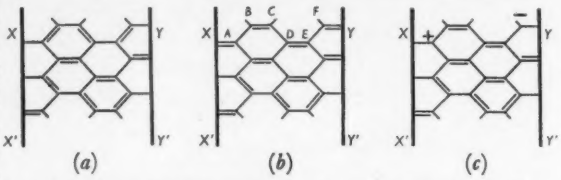


FIGURA 9 – *Estructuras de los enlaces en la capa de grafito.*
(a), (b) Estructuras co-valentes alternativas.
(c) Una estructura iónica.

ESTRUCTURAS IONICAS: EJEMPLO, EL GRUPO CARBONILO

La resonancia queda a veces restringida a una parte de una molécula más grande. Así, si R representa un radical saturado de apreciable extensión (en el cual la resonancia no es un factor significativo) la molécula R.COOH es un ácido; en disolución se separan H^+ dejando una estructura que puede representarse diagramáticamente por $R\text{–}C\langle^{O}_{O^-}$, en la cual hay un electrón libre en un átomo de O. Pero otro aparejamiento conduciría a la estructura $R\text{–}C\langle^{O^-}_{O}$. Se las llama estructuras iónicas para distinguirlas de las estructuras co-valentes previas. Es evidente que existe resonancia entre ambas estructuras iónicas. La energía de resonancia resultante es una poderosa razón en apoyo de la acidez de la molécula original, ya que permite la separación del átomo H (sin su electrón) con relativa facilidad.

CONDUCTIVIDAD METALICA: EJEMPLO, LA CAPA DE GRAFITO

Acabamos de ver que las estructuras iónicas contribuyen a la resonancia. Su existencia explica, asimismo, la capacidad de un metal de conducir la electricidad, o sea como es que los electrones pueden moverse con mayor o menor libertad sobre la red de átomos. Consideremos un pequeño elemento particular *AB . . . F* de una capa de grafito, tal como indica la figura 9, en el cual los átomos de carbono están dispuestos según una formación hexagonal regular, la cual está bordeada por los electrodos de una batería en *XX'* y *YY'*. Podríamos dibujar una serie de estructuras de resonancia para ilustrar los aparejamientos de los electrones, tal como hemos hecho para el benceno en la figura 7. Las figuras 9*a* y 9*b* son dos ejemplos entre un gran número posible. Entonces, debido a los aparejamientos alternativos de los electrones representados por 9*a* y 9*b* un electrón originalmente en *X* puede moverse primeramente hacia *A*, entonces a *B*, . . . y finalmente a *Y*. De esta manera los electrones pueden moverse libremente sobre toda la red. La única dificultad es que cuando un electrón se mueve en una dirección, otro electrón momentáneamente aparejado con él debe moverse en dirección opuesta, de manera que no hay ningún flujo de carga. Para conseguir tal flujo hay que introducir estructuras iónicas tal como la 9*c*, en la cual hay un extra electrón en el átomo *F* a expensas del átomo *A*. Normalmente esta estructura estaría equilibrada por otra, con un intercambio de cargas. Pero en presencia de un campo eléctrico apropiado habría una predominancia de (*c*) con un flujo de carga parcial. Si los electrones de la batería son capaces de recoger esta carga en *YY'* y volverla a emitir a la capa cristalina *XX'* podemos comprender porque la f.e.m. aplicada es capaz de producir una corriente uniforme.

REACCIONES QUIMICAS: EJEMPLO, $H_2 + Br_2 \rightarrow 2HBr$

La resonancia nos permite también comprender lo que ocurre en una reacción química. Consideremos la reacción $H_2 + Br_2 \rightarrow 2HBr$. En la figura 10*a* se ve a las moléculas H_2 y Br_2 aproximándose una a otra de tal manera que facilitan

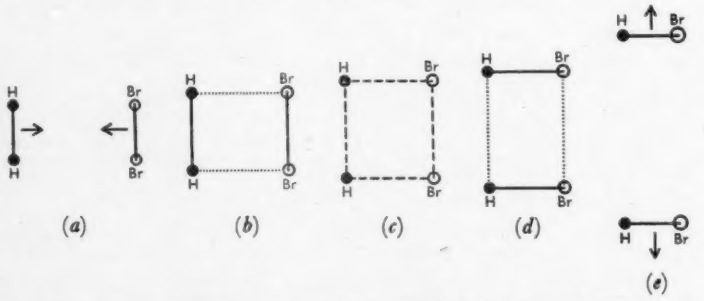


FIGURA 10 – *Etapas sucesivas de la reacción* $H_2 + Br_2 \rightarrow 2HBr$.

la producción de dos moléculas HBr, indicadas en (*e*). La interpretación original de esta reacción, debida a Erlenmeyer en 1901, es que en tanto que H_2 y Br_2 se aproximan, llega un momento en que los enlaces se intercambian súbitamente y en vez de H–H y Br–Br encontramos dos moléculas H–Br. Pero, ahora podemos ver que no hay tal cambio súbito de los enlaces, sino una transición gradual. En (*b*) la estructura $\begin{matrix} H & Br \\ | & | \\ H & Br \end{matrix}$ contribuye más que la $\begin{matrix} H\text{–}Br \\ H\text{–}Br \end{matrix}$. Pero en (*c*) ambas contribuyen igualmente al híbrido de resonancia. Esta última situación se denomina a veces «complejo de reacción» o «complejo activado»; en él los enlaces no están realmente localizados. A medida que la reacción procede, en (*d*) la estructura $\begin{matrix} H\text{–}Br \\ H\text{–}Br \end{matrix}$ predomina, hasta que por fin en (*e*) existen dos moléculas H–Br completamente definidas y la reacción queda ya así completa.

POLIMERIZACION: EJEMPLO, POLITENO

Una explicación semejante puede darse para las reacciones de polimerización, tan importantes en el estudio y desarrollo de la goma artificial. En la figura 11 se ve el primer paso en la polimerización del etileno. Al aproximarse dos moléculas de etileno (C_2H_4) se produce cierta resonancia entre la estructura (I) con dos enlaces dobles localizados, y (II) en donde los enlaces dobles han sido abiertos y el acoplamiento tiene lugar a través de los átomos de carbono centrales. Cuando las moléculas se aproximan todavía más la estructura (II) pasa a ser predominante, hasta que se

$$\begin{array}{ll} \text{(I)} & H_2C = CH_2 \qquad\qquad H_2C = CH_2 \\ \text{(II)} & - - - H_2C - CH_2 - - \quad - - H_2C - CH_2 - - - \\ \text{(III)} & \quad - H_2C - CH_2 - CH_2 - CH_2 - \end{array}$$

FIGURA 11 – *Etapas sucesivas en la polimerización del etileno.*

termina con la (III) en la cual la valencia libre a cada extremo de la cadena permite otras adiciones de más grupos etilénicos de manera tan fácil, al menos, como la primera.

Surge aquí una última cuestión: ¿es la resonancia un fenómeno *real*? La respuesta es: ciertamente no. Consideremos el benceno con sus dos estructuras de Kekulé 7*b* y *c*. No podemos afirmar que la molécula tenga ni una estructura ni otra, ni tampoco que oscile entre ambas. De hecho hay simplemente el enlace aromático C–C. Puesto que según los términos matemáticos existe sólo una completa y propia solución de la ecuación ondulatoria de Schrödinger que describe el movimiento de los electrones. La resonancia es sólo un medio de presentar esta solución, o mejor aún puesto que la solución completa es demasiado compleja para ser resuelta en detalle, la resonancia es un método — y por cierto no el único — para describir la solución aproximada.

Revista de libros

LAS FRONTERAS DE LA ASTRONOMIA

Frontiers of Astronomy, *por David S. Evans. Págs.* 174, *con* 8 *planchas y* 47 *diagramas. Sigma Books Limited, Londres.* 1946. *Precio neto,* 6*s.*

El Dr. Evans ha conseguido considerable éxito en la difícil tarea de explicar en forma sencilla y comprensible para el lector no especialista ciertos problemas con los que se preocupan hoy los astrónomos, señalando además las razones que hacen necesaria su solución. En una obra de las dimensiones reducidas de ésta es sólo posible tratar de ciertos tópicos cuya elección está condicionada, como es natural, por el personal interés del autor; y sería, pues, poco generoso criticar la elección del contenido. Sin embargo, se hubiera podido incluir algunos de los problemas, aún sin solución, del sistema solar. Es cierto que el centro de interés de las investigaciones astronómicas se ha apartado de dicho sistema (a excepción del Sol), por lo que el lector puede llegar a suponer que están ya resueltos todos sus problemas. Pero los que se refieren al origen de los cometas, la naturaleza de las nubes de Venus, la ausencia de agua en dicho planeta cuando tanto abunda en la Tierra, el carácter de las marcas de Júpiter y del colorido de sus zonas, la repentina brillantez y debilitación de ciertos cometas, todo ello requiere aún solución, y no es más que parte de los muchos problemas del sistema solar. La corona del Sol es hoy objeto de intenso estudio, y parece sin duda ser la clave de otros muchos problemas solares; debiera haberse estudiado, por lo tanto, más extensamente dicho punto, así como también el campo magnético de las manchas solares. Y el hecho de que no se mencionen las investigaciones astronómicas por medio de la radio y radar—la radiación electromagnética solar y de la Vía Láctea—es buena indicación de que la Astronomía avanza tan rápidamente, que cualquier libro que trate de sus fronteras está ya anticuado antes de salir de la prensa.

H. SPENCER JONES

DIFRACCION POR MOLECULAS

The Diffraction of X-rays and Electrons by Molecules, *por M. H. Pirenne, con un prefacio de P. Debye. Págs. xii + 160. Cambridge University Press.* 1946. *Precio neto,* 12*s.* 6*d.*

Se trata de una obra sobre principios y métodos de la ciencia física, no de los resultados obtenidos. Su exposición es de una claridad y sencillez admirables, y su contenido ha de interesar no sólo a los especialistas en la materia sino también a un círculo muy amplio de lectores. Todos los investigadores en materias de difracción de rayos X hallarán los primeros capítulos, que estudian la dispersión coherente e incoherente, la radiación fluorescente y el factor de dispersión atómica, de gran utilidad; el lector no especializado encontrará altamente interesante el estudio del mérito relativo de los rayos X y de la difracción electrónica como métodos para el estudio de las moléculas gáseas, coincidiendo con el autor en que ambos métodos deben ser puestos en práctica para ciertos tipos de moléculas. Sólo se nos ocurre un motivo de crítica: en el libro del Dr. Pirenne se dedica mucho menos espacio a la difracción electrónica que a la de rayos X, aunque el primer método ha sido practicado mucho más frecuentemente para el estudio de las moléculas gaseosas. Esta preferencia de los rayos X es comprensible, ya que su difracción ha sido el estudio de especialización del autor, pero la obra quedaría mucho más equilibrada, cumpliendo por lo tanto mejor la promesa que se encierra en su título, si ambos métodos se estudiasen de manera equivalente. Aunque quizás no debieramos intentar imponer un campo de acción dado al autor, sino únicamente compadecernos de sus dificultades para encontrar un título adecuado a la presente obra. Con todo, ésta significa una valiosa adición a la literatura sobre los métodos de difracción. C. W. BUNN

LA CIENCIA Y LA NUTRICION

Science and Nutrition, *por A. L. Bacharach. Págs.* 142. *C. A. Watts & Co. Ltda., Londres. Segunda edición,* 1945. *Precio neto,* 5*s.*

La segunda edición de esta obra debe alcanzar tanta popularidad como la primera. En ella, el autor cumple totalmente su propósito de presentar al lector un estudio de los métodos de laboratorio para el estudio de los problemas nutricionales y del conocimiento así obtenido. Con una gran simplicidad de expresión y el uso adecuado de símiles que faciliten su comprensión, el autor nunca permite que su intención de tratar la nutrición desde el punto de vista químico le haga olvidar el valor nutritivo de las substancias en estudio.

Esta edición sigue el buen orden de exposición de la primera, incorporando además muchos datos nuevos. Luego de una breve reseña sobre la experimentación animal aparece una descripción de los elementos básicos de la dieta: proteínas, grasas e hidrocarbonos; otras dos secciones tratan de los minerales y vitaminas. Su contenido está muy bien seleccionado, incluyéndose sólo aquellos descubrimientos recientes sobre los amino-ácidos, elementos de indicio, y vitaminas recién aisladas que pueden ser aceptados sin duda alguna.

El autor señala la necesidad de cierta cautela al aplicar al hombre los descubrimientos obtenidos en un laboratorio con animales; con todo, dichos resultados sugieren que la malnutrición humana puede estar causada por múltiples razones, causando a su vez tanto daño a la salud como pueda hacerlo una infección. Como remedio el autor describe, en la sección última de su libro, una dieta óptima, en cuya preparación se han combinado el sentido común y los resultados de laboratorio; indica además la necesidad de que todo hombre pueda obtenerla.

J. R. P. O'BRIEN

QUIMICA PRACTICA

Practical Chemistry for Medical Students, *por William Klyne. Prólogo del Profesor G. F. Marrian. Págs. xvi* + 460. *E. & S. Livingstone Ltda., Edimburgo.* 1946. *Precio neto,* 20*s.*

Se reconoce hoy que la preparación de los futuros médicos debe basarse sobre un sólido fundamento científico, especialmente en lo que a la Química se refiere. En las 460 páginas de esta excelente obra, el autor presenta un curso de estudio experimental de amplio y variado carácter. El libro se divide en cinco partes tituladas: Algunas ideas científicas fundamentales, Métodos prácticos, Química general y física, Química inorgánica, y Química orgánica. En el prefacio, el autor insiste en que el tiempo que la Facultad de Medicina de Edimburgo dedica a la Química no permite cubrir más que la mitad de las materias contenidas en su obra; la única respuesta que se nos ocurre es que si la elección es apropiada el interés del estudiante queda suficientemente salvaguardado.

En este libro se ha tenido buen cuidado de que el estudiante se encuentre preparado al hacer frente al trabajo experimental, no sólo en lo que se refiere a la comprensión de los principios teóricos, sino a la necesidad del cuidado y exactitud en la ejecución experimental. En la pág. 424 el autor se refiere a la prueba de Gerhardt para el ácido aceto-acético; es de presumir que quiere indicar la prueba de Geuther, ya que Gerhardt murió en 1856 y el ester aceto-acético fué descubierto por Geuther en 1863. Otras críticas se refieren al capítulo de los análisis volumétricos: la graduación de valores de menos de 10 ml. en la pág. 132, y la omisión del uso de los indicadores de adsorción. A. J. BERRY

LA RELIGION Y LA CIENCIA

The Fourfold Vision, *por F. Sherwood Taylor. Págs.* 108. *Chapman & Hall Ltda., Londres.* 1945. *Precio neto,* 6*s.*

El Dr. Sherwood Taylor se propone probar que el conocimiento y método científicos no son contrarios a la religión, sino que pueden complementar a ésta. Esfuerzo realizado ya antes por otros muchos, con diverso grado de éxito, aunque el presente ensayo va dedicado especialmente al hombre de ciencia, dejando por lo tanto a un lado todos los argumentos metafísicos tan bien conocidos por el filósofo y el teólogo. La tesis central, de la que toma la obra su título, es que el hombre posee cuatro maneras de conocer la naturaleza, de las cuales es la ciencia sólo una; existe primeramente la mera percepción de la diversidad sin unidad; luego la percepción de la belleza en la naturaleza y su integración en el arte; después el descubrimiento de la armonía en el orden natural por medio de la Ciencia y la Filosofía; y finalmente la comprensión del mundo unificado en su orientación hacia Dios. El Dr. Taylor presenta sus argumentos con gran talento, arrastrando al lector con ellos durante una cierta distancia en verdad, una distancia considerable. Pero el problema central es quizás por naturaleza insoluble.